

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí 221

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študent:

Bc. Lenka Poništová

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí 221

Analýza vhodnosti konstrukčného systému pre trvanlivosť drevených lávok

The Analysis of the suitability of the design for the durability of wooden bridges

Študent:

Bc. Lenka Poništová

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lenka Ponišťová**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: Analýza vhodnosti konstrukčního systému pro trvanlivost dřevěných lávek.
The analysis of the suitability of the design for the durability of wooden bridges.

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor materiálu a možnosti aplikace na konstrukce.
2. Variantní řešení vhodného konstrukčního systému.
3. Návrh variant konstrukčního řešení.
4. Stanovení účinků zatížení působící na konstrukci.
5. Statický a dynamický výpočet nosné konstrukce včetně návrhu nosných spojů.
6. Diagnostika reálné konstrukce včetně vyhodnocení.
7. Srovnání návrhu s reálnými konstrukcemi.
8. Dokumentace navržené konstrukce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná pravidla zatížení – Zatížení větrem.
- [3] ČSN EN 1995-1-1: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] Koželouh, K.: Navrhování, výpočty a posouzení dřevěných stavebních konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ISBN:978-80-87093-73-3.
- [5] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Stahlbau
- [6] Internet

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Fojtík, Ph.D.**

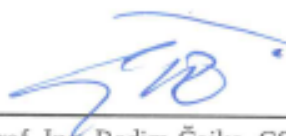
Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú diplomovú prácu vrátane príloh vypracovala samostatne pod vedením Ing. Romana Fojtíka, Ph.D. a uviedla som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave 30.11. 2016

.....
Podpis študenta

Prehlasujem, že

- som bola oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa vzťahuje zákon 121/2000 Zb. - autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského § 60- školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo neziskovo pre svoje vnútorné potreby diplomovú prácu použiť (§ 35 odst.3)
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu. Súhlasím s tým, že údaje o mojej diplomovej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo dojednané, že s VŠB-TUO , v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bolo dojednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu na jej použitie môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na uhradenie nákladov, ktoré boli VŠB-TUO vynaložené (až do ich skutočnej výšky)
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č.111/198 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby

V Ostrave 30.11. 2016

.....

Podpis študenta

PodĎakovanie

Touto cestou by som sa chcela poďakovať pánovi Ing. Romanovi Fojtíkovi, Ph.D., vedúcemu diplomovej práce, za ústretovosť, cenné rady a účinné pedagogické vedenie pri spracovaní mojej diplomovej práce.

Osobné poďakovanie patrí mojej rodine a priateľom za podporu

Anotácia

PONIŠTOVÁ, L.: *Analýza vhodnosti konštrukčného systému pre trvanlivosť drevených lávok: Diplomová práca*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavebná, Katedra konštrukcií, 2016 s.94. Vedúci práce: FOJTÍK, R.

Táto diplomová práca je zameraná na vhodnosť konštrukčného systému drevených lávok pre zvýšenie trvanlivosti. Práca je venovaná lávkam pre peších a cyklistov.

Cieľom diela je zhodnotenie predností a nevýhod konštrukčných prevedení objektov v závislosti na životnosti, respektíve navrhnutie možných opatrení pre zvýšenie trvanlivosti lávky ako riešenej konštrukcie.

Téma sa zaoberá aj materiálmi, ktoré sú vhodné pre konštrukcie drevených lávok.

Nájdeme tu aj priebeh experimentov zameraných na predpätie drevených nosníkov, čo je využité v návrhu vybraného variantu konštrukcie.

Kľúčové slová: drevo, drevená lávka, predpätie, predpätá drevená mostovka, lepené lamelové drevo, životnosť

Annotation

PONIŠTOVÁ, L.: *The analysis of the suitability of the design for the durability of wooden bridges: Diploma thesis*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering. Department of construction, 2016, p.94. Supervisor: FOJTÍK, R.

This diploma thesis is developed at suitability of structural system wooden footbridges for the increases durability. Thesis is dedicated to the pedestrian bridge to the cyclist.

The aim is to achieve advantages and disadvantages of mechanical design depending on life or designed possible measure for increase durability of footbridge as a solution design.

Thesis is developed with materials that are appropriate for constructions of wooden footbridges.

We can find also the course of experiments aimed at pre - stressed wooden beams what is used in design of the selected alternative design.

Keywords: wood, wooden footbridge, pre - stress, pre - stressed wooden bridge deck, glued laminated timber, durability

ŠTRUKTÚRA DIPLOMOVEJ PRÁCE

A Textová časť

B Prílohy

- B1 Statický a dynamický posudok drevenej lávky
- B2 Scia Engineer Report – Doskový model

C Výkresová dokumentácia

- C 01 Celková situácia stavby
- C 02 Pôdorys drevenej lávky
- C 03 Pozdĺžny rez/pohľad
- C 04 Priečne rezy drevenou lávkou
- C 05 Detail A – Uloženie lávky

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí 221

A Textová část

Študent:

Bc. Lenka Poništová

Vedúci diplomovej práce:

Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Ostrava 2016

Obsah

Zoznam použitého značenia	13
1 Úvod.....	16
2 Drevo.....	17
2.1 Stavba dreva	18
2.1.1 Chyby štruktúry dreva	21
2.1.1.1 Točivosť.....	21
2.1.1.2 Hrče	21
2.1.1.3 Reakčné drevo	22
2.1.1.4 Vnútoraná beľ.....	22
2.1.1.5 Vodnatosť	23
2.1.1.6 Rakovina.....	23
2.1.1.7 Zaparenie	23
2.2 Vlastnosti dreva	24
2.2.1 Hustota	24
2.2.2 Redukovaná hustota dreva.....	25
2.2.3 Pórovitosť.....	25
2.2.4 Drevo a vlhkosť.....	25
2.2.5 Vlhkosť a mechanické vlastnosti	26
2.2.6 Zosychanie a napúčanie	27
2.2.7 Tvarové zmeny	27
2.2.8 Tvrdosť.....	28
2.2.9 Horľavosť	29
3 Materiály na báze dreva	29
3.1 Mechanické a fyzikálne vlastnosti materiálov na báze dreva.....	31
3.1.1 Faktory ovplyvňujúce mechanické a fyzikálne vlastnosti materiálov na báze dreva	31
3.2 Lepené lamelové drevo.....	34
3.2.1 Výroba lepeného lamelového dreva	34
3.2.2 Použitie lepeného lamelového dreva.....	36
3.2.3 Zhrnutie charakteristiky lepeného lamelového dreva	37
3.2.4 Výhody LLD	37
3.3 Špeciálne drevené nosníky	38
3.3.1 I – nosníky.....	38
3.3.2 Vystužované nosníky	38

4	Lávka.....	39
4.1	Základné pojmy	39
4.2	Delenie lávok	40
4.3	História drevených mostov a lávok	41
4.3.1	Najstaršie nezachovalé drevené lávky a mosty	42
4.3.2	Zachované historické drevené lávky a mosty	44
4.3.3	Moderné lávky.....	48
4.4	Konštrukčný systém lávok.....	50
4.4.1	Doskové a trámové lávky	52
4.4.2	Oblúkové lávky	53
4.4.3	Visuté lávky.....	54
4.4.4	Zavesené lávky	55
4.4.5	Vešadlové a vzpínadlové lávky	56
4.4.6	Lávky s predpätou mostovkou	57
5	Trvanlivosť drevených lávok a mostov	59
5.1	Trvanlivosť dreva	59
5.2	Metódy zvyšovania trvanlivosti dreva.....	60
5.3	Životnosť stavieb a výrobkov z dreva	61
5.3.1	Životnosť drevených lávok	61
5.4	Izolačný materiál polyurea	63
5.5	Drevený most Olšava.....	64
5.6	Drevená lávka „ U hradu Veveří ".....	67
6	Variantné riešenia návrhu	70
6.1	Variant A - Klasické riešenie trámová lávka.....	70
6.1.1	Variant A1 - Klasické riešenie (Prúťový model).....	71
6.1.2	Variant A2 - Klasické riešenie (Doskový model)	72
6.2	Variant B - Predpäté nosníky s vloženými tuhými ramenami.....	73
6.2.1	Variant B1 – Predopnuté nosníky s tuhými ramenami (Prúťový model)	73
6.2.2	Variant B2 – Predopnuté nosníky s tuhými ramenami (Škrupinový model) ...	74
6.3	Porovnanie variantov	75
7	Experimentálne sledovanie predpínacej sily.....	77
7.1	Postup merania	77
7.2	Výstup z experimentov.....	78
7.3	Vyhodnotenie experimentu.....	80
8	Statický a dynamický návrh a posudok vybranej alternatívy	81

8.1	Popis lávky	81
8.1.1	Materiál a geometria prvkov	81
8.1.2	Ošetrovanie konštrukcie	82
8.2	Statický výpočet	82
8.2.1	Zaťaženie pôsobiace na lávku	82
8.2.1.1	Zaťaženie od chodcov	82
8.2.1.2	Zaťaženie od vetra	82
8.2.2	Hlavné nosníky	83
8.2.3	Medzný stav únosnosti	83
8.2.3.1	Stanovenie prierezových charakteristík	84
8.2.3.2	Posúdenie hlavného nosníka	84
8.2.4	Posúdenie spojovacích prostriedkov	85
8.2.5	Medzný stav použiteľnosti	85
8.2.6	Posúdenie predpätia drevenej lávky	86
8.3	Dynamický výpočet	87
8.3.1	Overenie vlastných frekvencií	87
8.4	Porovnanie návrhu s experimentálnou časťou	88
8.5	Uloženie drevenej lávky	89
8.5.1	Priečnik	89
8.5.2	Návrh ložísk	90
8.6	Návrh zábradlia	91
8.7	Výpočtový MKP model	92
8.8	Porovnanie MKP modelu s ručným výpočtom	93
9	Záver	94
10	Použité pramene	95
10.1	Zoznam informácií	95
10.2	Zoznam obrázkov	100
10.3	Zoznam tabuliek	103
10.4	Zoznam grafov	104

Zoznam použitého značenia

A	Plocha prierezu	$[m^2]$
A_{cr}	Redukovaná plocha prierezu	$[m^2]$
b_{ef}	Efektívna šírka prierezu	$[m]$
c_d	Súčiniteľ konštrukcie	$[-]$
c_s	Súčiniteľ konštrukcie	$[-]$
$c_{f,z}$	Súčiniteľ zaťaženia vetrom pre mosty	$[-]$
c_{season}	Súčiniteľ ročného obdobia	$[-]$
$E_{0,05}$	Päť percentný kvantil modulu pružnosti	$[MPa]$
f	Frekvencia	$[-]$
$f_{x,k}$	Charakteristická pevnosť materiálu	$[MPa]$
$f_{x,d}$	Návrhová pevnosť materiálu	$[MPa]$
$f_{u,k}$	Charakteristická pevnosť v ťahu	$[MPa]$
$F_{i,k}$	Charakteristická hodnota sily	$[kN]$
$F_{i,d}$	Návrhová hodnota sily	$[kN]$
$F_{v,Ed}$	Návrhová šmyková sila	$[kN]$
$F_{v,Rk}$	Char. únosnosť jedného spojovacieho prostriedku v strihu	$[kN]$
$F_{v,Rd}$	Návrhová únosnosť jedného spojovacieho prostriedku v strihu	$[kN]$
I_y	Moment zotrvačnosti	$[m^4]$
i_y	Polomer zotrvačnosti	$[m]$
k	Konštanta tuhosti	$[N/m]$
k_n	Prevodný súčiniteľ	$[-]$
h	Hrúbka dosky	$[m]$
L	Rozpätie mosta	$[m]$
m	Celková hmotnosť	$[kg]$
m_x	Priemerná veličina	
μ_d	Návrhová hodnota súčiniteľa trenia	$[-]$
M_{Ed}	Návrhový ohybový moment	$[kNm]$
M_i	Ohybový moment	$[kNm]$
$M_{max,plate}$	Maximálny ohybový moment vyvođený na doske	$[kNm/m]$
$m_{max,lam}$	Maximálny ohybový moment vyvođený na nosníku	$[kNm]$
$M_{pl,Rd}$	Ohybová únosnosť	$[kNm]$
$MSÚ$	Medzný stav únosnosti	

MSP	Medzný stav použiteľnosti	
$M_{y,Rk}$	Plastický moment únosnosti spojovacieho prostriedku	$[N/mm]$
Q_k	Charakteristické celkové spojité zaťaženie	$[kN/m]$
Q_d	Charakteristické celkové spojité zaťaženie	$[kN/m]$
R_i	Reakcie	$[kN]$
V_{Ed}	Návrhová šmyková sila	$[kN]$
V_i	Posúvacie sily	$[kN]$
W_y	Modul prierezu	$[m^3]$
b	Šírka prvku	$[m]$
b_{eff}	Efektívna šírka	$[m]$
d	Priemer spojovacieho prostriedku	$[mm]$
e	Excentricita	$[mm]$
g_k	Charakteristické spojité zaťaženie	$[kN/m]$
g_d	návrhové spojité zaťaženie	$[kN/m]$
h	Výška prvku	$[m]$
h_{nut}	Nutná výška prvku	$[m]$
$k_{c,y}, k_{c,z}$	Súčiniteľ vzpernosti	$[-]$
$\sigma_{p,min}$	Minimálne dlhodobé prebytkové napätie v tlaku od predpätia	$[N/mm^2]$
f_0	Vlastné frekvencie	$[Hz]$
l_l	Maximálna vzdialenosť spojov na tupý zraz	$[mm]$
d_p	Vzdialenosť medzi prepínacími prvkami	$[mm]$
t_p	Hrúbka lamíel v smere predpínania	$[mm]$
$f_{c,90,k}$	Charakteristická pevnosť dreva v tlaku kolmo k vláknam	$[MPa]$
$f_{c,90,d}$	Návrhová pevnosť dreva v tlaku kolmo k vláknam	$[MPa]$
$f_{h,k}$	Charakteristická pevnosť v otláčení dreva	$[MPa]$
$f_{m,k}$	Charakteristická pevnosť dreva v ohybu	$[MPa]$
$f_{m,d}$	Návrhová pevnosť dreva v ohybu	$[MPa]$
$f_{u,k}$	Charakteristická pevnosť oceli v ťahu	$[MPa]$
$f_{v,k}$	Charakteristická pevnosť dreva v šmyku	$[MPa]$
$f_{v,d}$	Návrhová pevnosť dreva v šmyku	$[MPa]$
$f_{y,k}$	Charakteristická medza klzu ocele	$[MPa]$
k_{cr}	Súčiniteľ vplyvu trhlín	$[-]$
k_{def}	Súčiniteľ dotvarovania	$[-]$
k_m	Súčiniteľ redistribúcie napätia	$[-]$

k_{mod}	Modifikační súčiniteľ	[-]
l_{eff}	Efektívna dĺžka	[m]
m	Hmotnosť pre výpočet kmitania	[kg]
t	Hrúbka	[mm]
γ_g	súčiniteľ spoľahlivosti stálego zaťaženia	[-]
γ_q	Súčiniteľ spoľahlivosti úžitkového zaťaženia	[-]
γ_M	Súčiniteľ spoľahlivosti stálego zaťaženia	[-]
γ_{M0}	Súčiniteľ spoľahlivosti	[-]
γ_{M2}	Súčiniteľ spoľahlivosti	[-]
μ	Hmotnosť na jednotku dĺžky	[kg/m]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ_k	Hustota	[kg/m ³]
$\sigma_{m,y,d}$	Napätie v ohybe	[MPa]
τ_{Ed}	Šmykové napätie	[MPa]
φ_i	Číslo zohľadňujúce statické pôsobenie prvku v priehybe	[-]
ψ_2	Kombinačný súčiniteľ	[-]
ω_0	Kruhová frekvencia	[rad/s]
w_{inst}	Okamžitý priehyb	[m]
$w_{inst,g}$	Okamžitý priehyb od stálego zaťaženia	[m]
$w_{inst,q}$	Okamžitý priehyb od úžitkového zaťaženia	[m]
$w_{net,fin}$	Finálny priehyb	[m]
$w_{net,fin,g}$	Finálny priehyb od stálego zaťaženia	[m]
$w_{net,fin,q}$	Finálny priehyb od úžitkového zaťaženia	[m]

1 Úvod

Táto diplomová práca sa venuje konštrukčným systémom z hľadiska vplyvu na životnosť a trvanlivosť drevených lávok. Riešenými objektmi v tomto prípade sú drevené lávky pre peších a cyklistov. V uplynulých dvadsiatich rokoch stúpol v Európe (ČR, SR) trend používania dreva pre konštrukcie lávok, a to z dôvodu vývoja nových spôsobov zvyšovania úžitkových vlastností drevených konštrukcií napríklad pomocou nových typov spojov alebo vystužovaním oceľou a podobne. Výhodou objektov z dreva oproti iným materiálom je predovšetkým cena.

Na začiatku je práca zameraná na teoretické hľadisko týkajúce sa dreva ako materiálu, materiálov na báze dreva s podrobnejším prihliadnutím na špeciálne kompozitné nosníky a lepené lamelové drevo. Teoretická časť pokračuje všeobecnými informáciami o lávkach, ich histórii a konštrukčných systémoch. V prípade konštrukčných systémov drevených lávok je práca orientovaná na snahu upozorniť na ich výhody a prípadné nevýhody v súvislosti s realizáciou a prevádzkou.

Drevené konštrukcie a lávky sú náchylné na pôsobenie klimatických vplyvov a vlhkosti, čo značne ovplyvňuje ich funkčnosť a trvanlivosť. Súčasťou práce je teoretický pohľad na tento problém a niekoľko príkladov drevených lávok a mostov, na ktorých bola vykonaná diagnostika, kde je možné vidieť dopad nesprávneho konštrukčného riešenia na ich stav.

Jedným z cieľov je návrh konštrukcie drevenej lávky, vzhľadom na požadované nároky. Podstatou tejto časti je vytvorenie a porovnanie variantov klasického trámového riešenia a inovatívneho riešenia predpínaných drevených lávok. Predpínanie drevených nosníkov je rozobrané aj v experimentálnej časti, kde je sledovaná veľkosť predpínacej sily v čase.

V závislosti na výstupoch z experimentálnej časti a porovnaní alternatív je vytvorený návrh drevenej lávky, ktorá je posúdená zo statického a dynamického hľadiska. V závere je návrh konštrukcie porovnaný s reálnym správaním sa nosníkov počas skúšok.

2 Drevo

Drevo vedeli spracovávať už naši predkovia a dokonca ho aj chrániť pred hmyzom a poveternosťami. Používali tesárske spoje a zvládali to aj bez spojovacích prostriedkov. Niektoré stavby pretrvávali storočia a pár z nich je možné obdivovať aj dnes.

V dnešnej dobe je používanie dreva pre výstavbu nielen mostných objektov a lávok, ale aj budov pozemných stavieb v rozmachu, k čomu prispieva vývoj nových spôsobov zvyšovania úžitkových vlastností drevených konštrukcií napríklad pomocou nových typov spojov dreva a oceli, vystužovaním dreva oceľou a karbónovými vláknami, sprahovaním dreva s betónom a podobne. Ďalším prínosom k efektívnemu využívaniu drevených technológií sú systémy lepeného dreva. Drevo je jedným z najstarších stavebných materiálov a ľahko dostupný, Čo sa týka množstva lesov, tak ČR je na 12. mieste v lesnatosti v Európe a na 6. mieste v ročnom príraste na 1ha ($7,8 \text{ m}^3 / \text{ha}$). Plošne zaberajú lesy v ČR takmer 34% plochy z celkovej rozlohy krajiny. Slovensko sa takisto zaraďuje medzi európske krajiny s najvyšším lesným pôdnym fondom, k roku 2003 je 41,9 % plochy z celkovej rozlohy krajiny.

Delenie dreva podľa druhu dreviny:

- **Ihličnaté**
 - jadrové (borovica, tis...)
 - zrelo drevné (smrek, jedľa...)
- **Listnaté**
 - kruhovo pórovité drevo (dub, céder, agát, jaseň, brest...)
 - prechodne pórovité drevo (orech, čerešňa...)
 - roztrúsené pórovité drevo (buk, jelša, hrab, javor, breza, lipa, vŕba....)

Alternatívne rozdelenie listnatého dreva:

- beľové (javor, jelša, hrab, breza ...)
- jadrové (dub, brest, agát, jaseň, orech ...)
- zrelo drevné (buk, lipa ...)

Alternatívne rozdelenie listnatého dreva:

- Tvrdé drevo (dub, brest, jaseň, buk....)
- Mäkké drevo (lipa, vŕba, topol....)

Drevo sa vyznačuje mnohými pozitívnymi vlastnosťami a to:

- Je to prírodný, obnoviteľný materiál
- Nízka energetická náročnosť
- Nízka hmotnosť
- Výhodné mechanické vlastnosti
- Ľahká opracovateľnosť
- Výhodné tepelnoizolačné schopnosti
- Výhodné akustické a zvukovo-izolačné vlastnosti
- Veľmi estetický materiál
- Dá sa ľahko lepiť a dobre drží spojovacie prostriedky

Medzi nevýhody dreva ako materiálu patrí:

- Zle odoláva biotickým škodcom
- Atmosférická korózia
- Slabá požiarne odolnosť
- Objemové zmeny závislé na vlhkosti

2.1 Stavba dreva

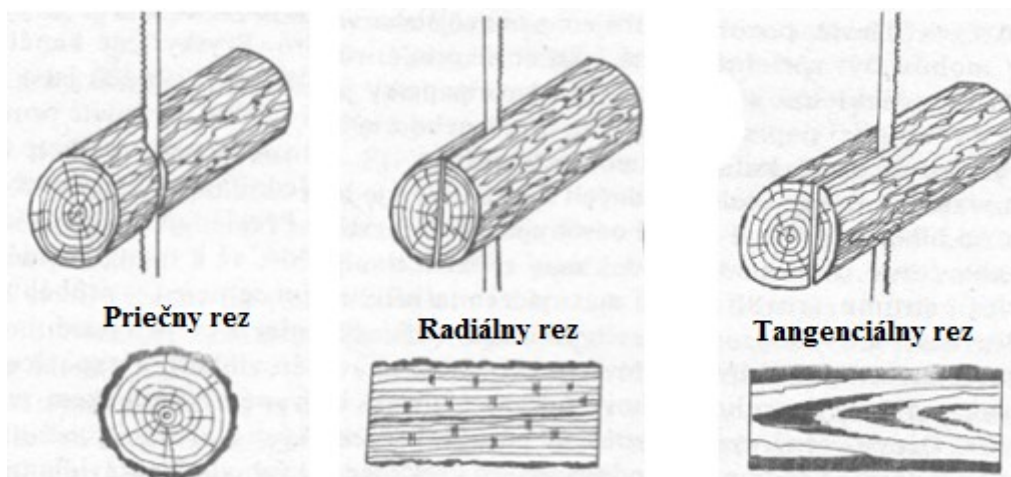
Aby bolo jasné, ako správne drevo používať a pre správnu aplikáciu dreva v praxi je potrebné poznať jeho stavbu a štruktúru. Stavba dreva sa delí na úroveň makroskopickú, mikroskopickú, chemickú a submikroskopickú.

Makroskopická stavba dreva je vnútorná štruktúra viditeľná prostým okom. Je dôležitá pre určenie vlastností dreva, spôsob spracovania, triedenie podľa akosti a určenie vád. Vzhľadom k vrstevnatej a vláknitej stavbe je nutné skúmať drevo v troch hlavných smeroch a rezoch (*Obr.1*). Makroskopická pevnosť (hrče, odklon vlákien a pod.) vysvetľuje prečo pevnosť v ťahu zaznamenáva skosenie z viac než 100 N/mm² u bezporuchového dreva a menej než 10 N/mm² u konštrukčného dreva nízkej akosti.

Hlavné rezy:

- **Priečny (čelný)** - rez kolmý na pozdĺžny smer od kmeňa. V rámci rezu rozoznávame kôru, lyko, drevo a dreň.

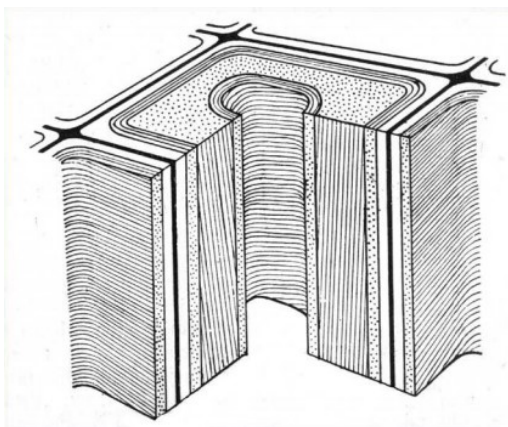
- **Radiálny (polomerový)** – rez vedený v smere dvoch dreňových lúčov. Dreň sa javí ako úzky pruh dreva
- **Tangenciálny (dotyčnicový)** – rez vedený rovnobežne na os kmeňa mimo dreň. Pri prerezaní vzniká charakteristická kresba dreva (fláder). [1]



Obr. 1 Rez drevom [49]

Mikroskopická stavba dreva je tvorená radou usporiadaných buniek v podobe letokruhov v troch vrstvách (beľ, zrelé drevo a jadro) a v troch smeroch (axiálny, radiálny a tangenciálny). Základné druhy drevných buniek sú trachey, tracheidy, libriformné vlákna a parenchymatické bunky. Mikroskopická stavba dreva bez väd je kľúčom k pochopeniu, prečo je tuhosť 20 a 40krát vyššia v pozdĺžnom smere než v smere priečnom.

Submikroskopická stavba dreva sa skúma pod mikroskopom. Ide o skúmanie jednotlivých bunkových stien a bunkových dutín. Bunková stena je heterogénna a trojvrstvomá (Obr.2). [1]



Obr.2 Vrstvy bunkovej steny dreva [49]

Chemická stavba dreva sa dá vyjadriť percentuálnym podielom jednotlivých chemických prvkov. Drevo obsahuje približne 49,5% uhlíka C, 5,9 % vodíka H, 44,2 % kyslíka O₂, 0,2% dusíka N. Zvyšok tvorí draslík, vápnik, horčík, fosfor, mangán, sodík a ďalšie. Hlavné zložky dreva tvorí celulóza, hemicelulóza a lignín.

- **Celulóza** tvorí 50% zo zložiek dreva u ihličnatých drevín a 40-45% u listnatých. Tvorí kostru zdrevnatených bunečných stien a považuje sa za chemicky stálu látku bielej farby, ktorá sa nerozpúšťa vo vode ani v acetóne. Svojím zložením sa dá charakterizovať ako polysacharid.
- **Hemicelulóza** je lineárny polysacharid s krátkymi reťazcami, ktorá je chemicky menej stála ako celulóza, a zároveň ju v jednotlivých vrstvách sprevádza.
- **Lignín** je makromolekulárna látka, ktorá má aromatický charakter. Dodáva drevu pevnosť, čo je v stavebníctve dôležitá vlastnosť. Obsahovo sa v ihličnatých drevinách vyskytuje vo väčšom množstve ako v listnatých.
- **Voda**
- **Sprievodné zložky dreva** sú látky chemickej povahy a vyskytujú sa v dreve len v malých množstvách. Rozdeľujú sa na organické a anorganické zložky. Ich výhodou je, že na rozdiel od hlavných zložiek dreva je možné ich oddeliť extrakciou. Tieto látky sa v dreve najčastejšie vyskytujú vo forme tukov, cukrov, živíc, voskov, tamínov a ďalších.

Anorganické látky: Vápnik
 Draslík
 Horčík
 Sodík

Organické látky: Sacharidy
 Fenoly
 Terpény
 Cyklické kyseliny
 Alkoholy
 Bielkoviny
 Alkaloidy – rastlinné jedy, chránia drevo pred škodcami

2.1.1 Chyby štruktúry dreva

Chyby štruktúry dreva majú veľký vplyv na jeho vlastnosti. Je jasné, že kusy dreva s chybami a poruchami nie sú vhodné pre následné použitie v stavebnej praxi. Správny výber dreva nie je problematické určiť, pretože tieto vady sa vyskytujú v drevnej hmote už počas rastu. Medzi chyby dreva sa zaraďujú nie len nedostatky vznikajúce počas rastu stromu, ale aj chyby, ktoré vznikajú počas ťažby, manipulácie a skladovania.

2.1.1.1 Točivosť

Niektoré stromy vytvárajú špirálové bunky okolo kmeňa. Táto točivosť je u niektorých druhov rozšírená, u iných k nej dochádza zriedkavo. Vyskytuje sa najmä u mladých stromov a je zapríčinená najmä dedičnosťou a významný vplyv sa prisudzuje aj vetru. Rezivo, ktoré bolo vyrobené z týchto stromov, vykazuje často odklon vlákien, pre ktoré je neprípustné pre konštrukčné účely. Vo väčšine predpisov pre vizuálne triedenie sú stanovené medzné hodnoty odklonu vlákien, pričom je obvykle akceptovaný odklon vlákien 1:10 pre drevo vyššej akosti a 1:5 pre drevo nižšej akosti. Podstatne znižuje mechanické vlastnosti dreva. [4]

2.1.1.2 Hrče

Hrče sú časti vetví, ktoré sú zarastené v hlavnom kmeni stromu. Bočná vetva je spojená s dreňou hlavného kmeňa. Keď objem kmeňa rastie, ďalšie letokruhy obaľujú kmeň a vetvy a vzniká kužeľovitá oblasť dreva – zrastená hrča. Tieto hrče sa označujú ako zrastené hrče, pretože sú pevne spojené s okolitým drevom. Vetvy na niektorých miestach odumierajú alebo sa odlomia a tým vzniká mŕtva časť takzvaná nezrastená hrča, ktorá sa nevyskytuje ako pevne zarastená do dreva, preto často dochádza k jej vypadnutiu. Ihličnaté drevo často vykazuje skupinové hrče, ktoré sú oddelené drevom bez hrč (*Obr.3*). Hrče sú pomenované podľa ich vzhľadu na povrchu dreva. [4]. S ohľadom na mechanické vlastnosti dreva bývajú hrče najvýznamnejšou vadou. Kvalita dreva je týmito nedostatkami ovplyvnená z viacerých stránok. Hrče zvyšujú celkovú heterogenitu dreva, menia orientáciu anatomických smerov v jeho kmeni. Takéto drevo je veľmi často napadnuté hnilobou a mení svoju vlastnú textúru.



Obr.3 Skupinové hrče v ihličnatom dreve [8]

2.1.1.3 Reakčné drevo

Tento typ poškodenia sa tvorí v listnatých, ale aj v ihličnatých drevinách. Ide o reakciu kmeňa a vetiev na namáhanie (ohyb stromu vetrom, hmotnosťou koruny pri krivom kmeni, excentrická poloha vetiev).

Rozlišujeme tlakové a ťahové reakčné drevo.

Tlakové reakčné drevo sa vyskytuje pri ihličnatých drevinách. Má vysoký podiel lignínu a prejavuje sa v mieste tlaku. Makroskopicky je viditeľné ako hnedá zóna vyskytujúca sa v 2-3 ročných kruhoch alebo súvislejšie v tvare polmesiaca. Zhrubnutie tracheidy spôsobuje zvýšenie hustoty, čelnej tvrdosti, tlakovej a ohybovej pevnosti. Ich neúplné spojenie spôsobuje zníženie ťahovej pevnosti pozdĺž vlákien.

Ťahové reakčné drevo sa vyskytuje pri listnatých drevinách v mieste ťahu a je spôsobené najmä nepravidelnou korunou. V dreve je zvýšené množstvo kryštalickej celulózy. Ťahové drevo je pozorovateľné zdrsnením reznej plochy v závitovkovej zóne nad hrčou a najčastejšou príčinou deformácie reziva a dýh pri sušení. Jeho tlaková pevnosť je podstatne menšia ako u normálneho dreva.

2.1.1.4 Vnútoraná bel'

Vytvára sa u niektorých jadrových drevín ako nedostatok vplyvu vonkajších činiteľov, ktoré oslabili organizmus stromu, napríklad poškodenie mladých vyrašených listov neskorými mrazmi alebo požer mladých listov premnoženým hmyzom (chrústami), a ten následne prestal

vytvárať na niekoľko rokov jadrovú zónu. Častým problémom je odlupčivá trhlina v danej zóne. Takéto drevo ľahko podlieha hnilobe a preto môže ľahko dôjsť k znehodnoteniu dreva.

2.1.1.5 Vodnatosť

Je nasiaknutie vnútorných častí kmeňa vodou (vlhkosť jadra alebo zóny vyzretého dreva je čerstvo po zoťatí vyššia ako vlhkosť beľového dreva). Drevo po vysušení obsahu siet' trhlín, v niektorých prípadoch (pri hrubšom rezive) zostávajú v rezive mokré šošovkovité útvary.

2.1.1.6 Rakovina

Je napadnutie kmeňa a konárov silne parazitickými hubami a baktériami. Primárnou príčinou je poranenie, požerok hmyzu, cez ktoré sa spóry húb dostanú do oblasti lyka, kambia, prípadne živých buniek dreva. Dráždenie živých buniek parazitickými hubami zapríčiňuje tvorbu guľovitého nádoru, ktorý je označovaný ako uzavretá rakovina. Pri otvorenej rakovine sa poranenie kmeňa v dôsledku toho, že parazitická huba žije na vytvárajúcom sa závale, stále viac a viac roztvára.

2.1.1.7 Zaparenie

Tento druh poškodenia patrí medzi chyby štruktúry dreva, ktoré sa vyskytujú u zrelodrevných ale aj u beľových drevín. Zaparenie je považované za typickú skladovú chybu u bukového reziva. Toto poškodenie nevzniká počas rastu, takže je ovplyvnené ľudskými faktormi.

V spílenom kmeni, výreze, žijú parenchymatické bunky (stržňového lúča a drevných parenchým) pri skladovaní za vhodných podmienok (optimálna vlhkosť dreva) ešte niekoľko týždňov až mesiacov. Počas tohto obdobia môžu reagovať na stratu vlhkosti a prenikanie vzduchu zmenou farby a tvorbou týl. Drevo je zaparené v celom priereze skladovaného výrezu, nie len v zóne zrelého dreva, a na miestach, kde manipuláciou došlo k odlúpeniu kôry.

Pre zaparenie dreva sú priaznivé podmienky počas teplých jarných a letných mesiacov, preto je dôležité, aby bolo drevo dostatočne chránené. K zapareniu dochádza pri rovnakých podmienkach ako v prípade výskytu pôsobenia drevokazných húb. V praxi je najčastejšou formou ochrany takzvaný mokrý princíp. Podstatou tejto metódy je udržať vlhkosť guľatiny počas letných mesiacov na vysokej hodnote tak, aby bunky nestrácali vodu.

2.2 Vlastnosti dreva

Drevo je materiál heterogénny a ortotropný, čo znamená, že má odlišné vlastnosti v rôznych smeroch a to predovšetkým vlastnosti sledované v smere kolmo k vláknam a v smere rovnobežne s vláknami. V smere kolmom rozlišujeme vlastnosti v smere radiálnom a tangenciálnom.

2.2.1 Hustota

Hustota je najdôležitejšou fyzikálnou charakteristikou dreva. Väčšina mechanických vlastností dreva, ako aj únosnosť spojov sú pozitívne korelované s hustotou. Preto sú stanovené medzné hodnoty hustoty pre triedy pevnosti podľa ČSN EN 1912. *Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti*.

Hustota dreva je definovaná vzťahom:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad [kg/m^3] \quad (2.1)$$

Pre možnosť porovnania výsledkov sa používa hustota dreva v absolútne suchom stave, pričom hmotnosť i objem dreva sa musia stanoviť z nulovej vlhkosti dreva.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad [kg/m^3] \quad (2.2)$$

Najťažším drevom uvažujeme guajaku s hustotou $\rho_0=1363 \text{ kg/m}^3$ a najľahším je drevo balzy $\rho_0= 130 \text{ kg/m}^3$. Pre priblíženie hustoty najvýznamnejších drevín je uvedená *Tabuľka 1*. [6].

Dreviny	Hustota ρ_0 [kg/m ³]
Smrek, jedľa, topoľ	350-400
Limba, lipa, osika	400-450
Borovica	500
Smrekovec, duglaska, breza	500-600
Jaseň, javor, gaštan	630
Brest, dub	640-650
Buk	680
Agát, hrab	730-800

Tabuľka 1 – Hustota najvýznamnejších drevín [49]

2.2.2 Redukovaná hustota dreva

Je definovaná podielom hmotnosti dreva v absolútne suchom stave m_0 a jeho objemu pri určitej vlhkosti V_w .

$$\rho_{nr} = \frac{m_0}{V_w} \quad [kg/m^3] \quad (2.3)$$

V technológii dreva a u drevených konštrukcií sa používa najmä hustota v absolútne suchom stave ρ_0 a hustota ρ_{12} pri vlhkosti dreva 12%. Hodnoty hustoty podľa EC5 sa vzťahujú k hmotnosti a objemu pri rovnovážnej vlhkosti, ktorá sa ustáli pri teplote 20 °C a relatívnej vlhkosti vzduchu 65%.

Hustota ρ_c bunkovej steny je asi 1500 kg/m³. Hustota je preto závislá na jej pórovitosti, ktorá je definovaná ako objemový podiel bunkových dutín. Konštrukčné drevo vykazuje spravidla hustotu v absolútne suchom stave medzi 300 až 550 kg/m³, čo odpovedá objemovému podielu dutín 0,8 až 0,63. [4] , [6].

2.2.3 Pórovitosť

Je objem pórov v jednotkovom objeme dreva. Póry sú dutiny vytvorené lúmenmi, medzibunkovými priestormi, či dutiny v samostatných bunkových stenách. Celkovú pórovitosť p vyjadrujeme ako podiel objemu pórov V_p v jednotkovom objeme suchého dreva V_0 . Závisí od hustoty dreva. So stúpajúcou hustotou pórovitosť dreva klesá. U vlhkého dreva sa však vplyvom napúčania pórovitosť mení. [6].

2.2.4 Drevo a vlhkosť

Obsah vlhkosti dreva je definovaný ako pomer hmotnosti odvedenej vody m_w a hmotnosti suchého dreva m_0 (2.4.). Hmotnosť v suchom stave sa získa vysušením v sušiarňi pri teplote $103 \pm 2^\circ\text{C}$. Vlhkosť dreva môže byť vyjadrená ako zlomok alebo v percentách.

$$w = \frac{m_w}{m_0} 100 \quad [\%] \quad (2.4)$$

Pre vlhkosť dreva medzi 6%-28% sú k dispozícii elektrické vlhkomery, ktoré sú jednoducho a rýchlo použiteľné. Presnosť najlepších vlhkomerov je radovo $\pm 2\%$, čo je pre praktické použitie dostačujúce.

Pri sušení čerstvo porúbaného dreva je voda najprv odvádzaná z bunkových dutín. Táto voda nie je na drevo molekulárne viazaná a nazýva sa voľná voda. Voda vo vnútri bunkových

stien a nazýva voda viazaná, pretože je na bunkovú stenu viazaná Waalsovými silami. Obsah vlhkosti, pri ktorom sú bunkové steny nasýtené vodou, avšak do bunkových dutín nevstupuje voľná voda, sa označuje ako bod nasýtenia vlákien. Tento bod je veľmi dôležitý, pretože pod týmto bodom dochádza k významným zmenám väčšiny fyzikálnych a mechanických vlastností. Nad bodom nasýtenia vlákien je väčšina vlastností približne konštantná.

Pretože drevo je hygroskopický materiál, vymieňa si nepretržite vlhkosť s okolitým prostredím. Pre každú kombináciu teploty a vlhkosti okolitého vzduchu existuje príslušná vlhkosť dreva, pri ktorej difúzia vlhkosti vstupujúcej do dreva je v rovnováhe s difúziou vlhkosti vystupujúcej z dreva. Táto vlhkosť je označovaná ako rovnovážna vlhkosť, ktorú drevo však zriedka kedy dosiahne, pretože klimatické pomery okolitého prostredia sa neustále menia. [4], [6].

2.2.5 Vlhkosť a mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti dreva závisia na vlhkosti. Priberanie vlhkosti vedie k poklesu hodnôt pevnosti a tuhosti, kde je možné tento účinok preukázať napúčaním bunkovej steny, následkom čoho je k dispozícii menej materiálu bunkovej steny na plošnú jednotku. Dôležitejšie je však, že voda uniká do bunkovej steny a zoslabuje vodíkové spoje. Účinok zmien vlhkosti je na rôzne mechanické vlastnosti odlišný, napríklad pri namáhaní rovnobežne s vláknami je porušenie spôsobené vybočením vlákien. Pevnosť v tlaku reaguje na vlhkosť citlivejšie ako pevnosť v ťahu. Spôsob porušenia dreva namáhaného ohybom závisí na vlhkosti a to tak, že pri nízkych vlhkostiach dreva začína ohybové porušenie dreva vo vysoko namáhaných ťahových oblastiach, zatiaľ čo pri vysokých vlhkostiach porušenie vychádza z vysoko namáhaným tlačných oblastí. Porušenia v ťahu sú krehké na rozdiel od zlyhania v tlaku, pri ktorom dochádza k výraznému tečeniu v miestach s tlakovými záhybmi. [4], [6].

Vlastnosť	Zmena (%)
Tlak v smere vlákien	6
Tlak kolmo k vláknám	5
Ohyb	4
Ťah v smere vlákien	2,5
Ťah kolmo k vláknám	2
Šmyk kolmo k vláknám	2,5
Rázová húževnatosť	0,5
Modul pružnosti v smere vlákien	1,5

Tabuľka 2 – Zmena vlastností bezporuch. dreva (%) pri zmene obsahu vlhkosti dreva o 1%

2.2.6 Zosychanie a napúčanie

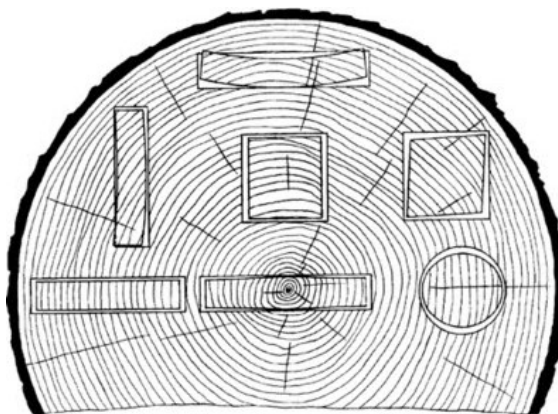
Vlhkosť vykazuje takú afinitu k substancii bunkovej steny dreva, že si môže vynútiť prístup do tohto vlastne porézneho materiálu. Tým sa vlásoknice posunú bočným smerom, z čoho vyplýva napúčanie bunkovej steny, ktoré sa môže pre praktické aplikácie predpokladať ako ekvivalentné objemu prijatej vody. Objem dutín však ostáva pri napúčaní stály.

Ak vystupuje vlhkosť z bunkovej steny, drevo zosychá. Zosychanie a napúčanie v medziach bežných zmien vlhkosti u drevených konštrukcií sa označuje ako vlhkosťné pretvorenie.

Ak je bránené rozťažnosti dreva (kolíkové spoje), prijímaním vlhkosti sú vyvodzované vnútorné sily. Účinkom vazkopružne/plastického chovania dreva sa tieto napätia eventuálne odbúrajú a dochádza k nevratným rozmerovým zmenám. Ak sa vráti drevo k jeho pôvodnej vlhkosti, jeho rozmery sú zmrštené, kolíkový spoj stratí presnosť lícovania, a tým aj časť únosnosti. Pri navrhovaní je tiež dôležité umožniť prístup k takým konštrukčným detailom, ktoré by mohli vyžadovať doťahovanie.

2.2.7 Tvarové zmeny

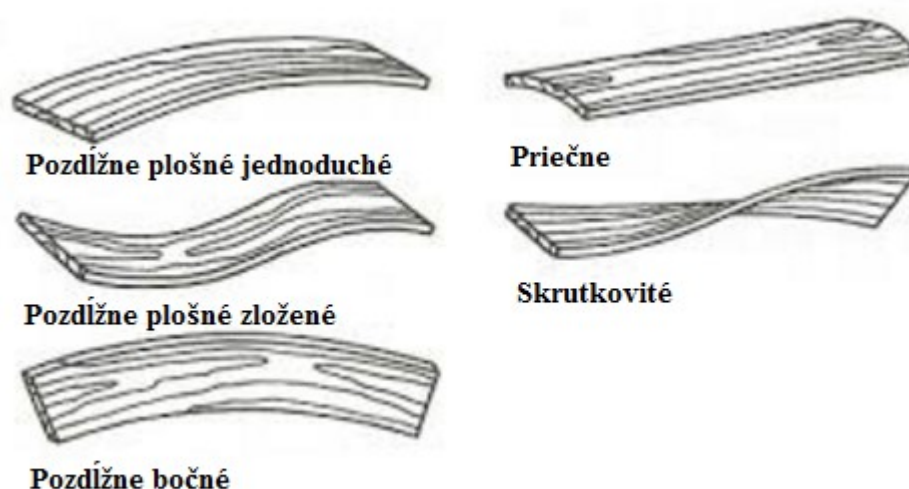
Anizotropia pri napúčaní a vysychaní kolmo k smeru vlákien môže spôsobiť zdeformovanie prierezu pri vysúšaní (*Obr. 4*). Skutočnosť, že tangenciálne zosychanie je približne dvojnásobkom radiálneho zosychania, vysvetľuje tendenciu letokruhov k napriamovaniu.



Obr. 4 Deformácie prierezu rozdielne vyrezaných z kmeňa po sušení [53]

Vnútorne napätia, ktoré vznikajú anizotropným zosychaním, sa odbúravajú v prvom rade vznikom radiálnych trhlín. Čím väčší je prierez a čím rýchlejšie je vysušenie, tým skôr dochádza k výsušným trhlinám.

Ak sa jedná o drevo s hrčami, tlakové len v jednej časti prierezu, môže dôjsť k tvarovým zmenám v pozdĺžnom smere ako napríklad zakrivenie (v smere hrúbky alebo šírky), alebo skrutkovému zakriveniu. K skrutkovému zakriveniu môže dochádzať, ak bolo rezivo vyrobené zo stromu s točivým rastom. Zakrivenie v priečnom smere(v tvare žliabku) je dôsledkom rozdielnych vlhkosných pretvorení v tangenciálnom a radiálnom smere (Obr.5). . [4] , [6].



Obr.5 Tvarové zmeny reziva [53]

2.2.8 Tvrdosť

Je schopnosť dreva klásť odpor proti vnikaniu iného telesa do jeho štruktúry. Tvrdosť dreva závisí na jeho druhu. Rozlišujeme 5 skupín tvrdosti dreva, teda čelnej tvrdosti pri 12% vlhkosti Tabuľka 3. [7].

Trieda	Tvrdosť [MPa]	Priklad
Mäkké	< 40	Smrek, jedľa, borovica...
Stredne tvrdé	41-80	Jaseň, dub, modrín...
Tvrdé	81-100	Agát
Veľmi tvrdé	101-150	Orgován
Super tvrdé	> 150	Eben

Tabuľka 3 – Triedy tvrdosti dreva [49]

2.2.9 Horľavosť

Horľavosť dreva popisuje schopnosť vznietiť sa, tlieť a horieť plameňom. Bodom vzplanutia berieme najnižšiu teplotu dreva, pri ktorej sa vytvorí toľko plynov, že spoločne so vzduchom vytvorí zmes, ktorá pri priblížení vzplanie a pri jeho oddialení opäť zhasne. U dreva je to teplota 180-275 °C. Drevo dlhodobo neodoláva teplotám vyšším ako 150°C. pri požiari je však oproti oceli stabilnejšie. Rýchlosť obhorievania sa meria v mm/min. [8].

3 Materiály na báze dreva

V minulosti veľkosť stromu v lese obmedzovala rozmery konštrukčného dreva, ktoré z neho bolo vyrobené. Ešte pred sto rokmi boli bežne dostupné trámy a prierezom 150x450 mm a dĺžkou do 20 m. V dnešnej dobe je v rade zemí takmer nedostupné, a preto drahé rezivo s prierezom väčším než 75x225 mm a s dĺžkami presahujúcimi 5 m. Pri požiadavke väčších rozmerov však dnes môže byť viac drevených častí zostavených do jedného konštrukčného prvku, napríklad konštrukčného prvku z lepeného lamelového dreva. [6].

Hlavným dôvodom, ktorý vedie k vývoji materiálov na báze dreva, je snaha o výrobu produktov využívajúcich priaznivé vlastnosti dreva (izolačná vlastnosť, ľahká obrábateľnosť, priaznivé pôsobenie na prostredie, nízke výrobné nároky na energiu...) a zároveň prekonávajúcich jeho nevýhody.

Pretože drevo je materiál tvorený z vlákien, ktorý zosychá a napučieva len v smere kolmom na vlákna, je možné rozmerové zmeny materiálov na báze dreva minimalizovať vhodným konštrukčným riešením, napríklad tzv. krížovým lepením (lepením materiálu tak, že smery vlákien jednotlivých vrstiev sú na seba kolmé). Pri výrobe aglomerovaných materiálov sa drevo najprv rozkladá na drobné časti, tieto drobné časti sa následne spájajú do jedného celku s usporiadaním podľa požiadavkou na konečný produkt. Týmto výrobným postupom možno dosiahnuť nižšiu vlhkosťnú rozťažnosť.

Materiály na báze dreva tiež prekonávajú nehomogenitu prírodného dreva a rozširujú rozmanitosť jednotlivých konštrukčných riešení. Aj keď tieto materiály, rovnako ako použitá výrobná surovina, vykazujú anizotropné správanie, na rozdiel od dreva, je možné stupeň anizotropie kompozitných materiálov regulovať (napríklad veľkosťou a orientáciou drevných častí), čo je ďalšia podstatná výhoda týchto materiálov, pretože ich vlastnosti v jednotlivých smerom môžu byť riadené podľa požiadavkou na konečný spôsob aplikácie. [9].

Medzi ďalšie výhody materiálov na báze dreva patrí:

- Možnosť výroby produktov v rozmeroch, ktoré sú obmedzované len použitou výrobnou technológiou
- Možnosť efektívnejšieho použitia prírodných materiálov
- Ľahšie prispôsobenie sa požiadavkám meniaceho sa trhu
- V porovnaní z ostatnými materiálmi vykazuje menšie zaťaženia životného prostredia z dôvodu minimálnej spotreby chemických látok, ktoré sú vo výrobku obsiahnuté



Obr.6 Niektoré materiály na báze dreva [9]

Moderné materiály na báze dreva sú vyrábané predovšetkým zo sortimentov nízkej kvality z rýchlo rastúcich druhov drevín. Skutočnosť, že surovina nízkej kvality môže byť použitá pre výrobu vysoko kvalitného produktu je pokladaná za jednu z najväčších výhod týchto materiálov, a to najmä v prípadoch, kde sú pre výrobu používané malé priemery guľatín. Ďalšou výhodou je, že vďaka rôznym technologickým postupom môžu byť z niekoľkých málo druhov drevín vyrábané materiály so širokou škálou vlastností pre odlišné aplikácie.

3.1 Mechanické a fyzikálne vlastnosti materiálov na báze dreva

Na mechanicko-fyzikálne vlastnosti (a na spôsoby aplikácie) materiálov na báze dreva majú výrazný vplyv takmer všetky výrobné parametre. Medzi najpodstatnejšie sa obvykle uvádza druh dreveniny, veľkosť, geometria, orientácia, formovanie a kvalita triesok, typ a množstvo použitého lepidla a prídavných látok, lisovacie faktory (lisovací čas, teplota a tlak, rýchlosť uzatvárania lisu, vlhkosť, chemické reakcie pri lepení triesok, plastifikácia, formát výrobku), ktoré vzájomnou interakciou v priebehu lisovania trieskového koberca umožňujú najmä tvorbu hustotného profilu charakterizujúceho rozloženie hustoty v doskách.

Obvykle platí, že zmenšovaním veľkosti častí sa zlepšuje možnosť ich formátovania, čo má za dôsledok stúpajúcu hustotu vyrábaného materiálu. Súčasne tiež platí, že pre materiály rovnakou hustotou so znižujúcou sa veľkosťou častíc klesá pevnosť.

3.1.1 Faktory ovplyvňujúce mechanické a fyzikálne vlastnosti materiálov na báze dreva

A) Dreveniny používané k výrobe

- **Dreveniny používané pre výrobu masívnych materiálov**

Pre výrobu materiálov z masívnych častí dreva sa používajú takmer všetky druhy drevín, najčastejšie smrek, borovica, dub, buk v závislosti na plánovanom účely využitia. Smrek je suverénne najvyužívanejšou drevinou v našej oblasti. Najmä vďaka dobrému pomeru medzi hmotnosťou a pevnosťou sa často používa v masívnej forme pre výrobu nosníkov a konštrukčných materiálov, pre výrobu spodných proti ťahových vrstiev, stredových častí latí a preglejok.

- **Dreveniny pre výrobu lúpaných dýh**

Lúpané dyhy sa najčastejšie vyrábajú z drevín, ktoré nemajú príliš výraznú textúru ako napríklad breza alebo iné menej vzhľadovo zaujímavé dreveniny.

- **Výroba triesok**

Pre výrobu triesok sa používajú predovšetkým mäkšie alebo rýchlorastúce dreveniny, z dôvodu úspory energie, nižšieho opotrebovania nástrojov a zníženia prašnosti pri výrobe. V podstate je možné použiť dreveniny s hustotou 350-700 kg/m³. Nižšia hustota drevnej hmoty vyvoláva pokles pevnostných vlastností vyrobených trieskových dosiek. Pri použití drevín veľmi vysokej

hustoty sa musí hustota dosiek enormne zvyšovať pre dosiahnutie požadovaných vlastností a uzatvorených hrán dosiek.

- **Výroba vlákna**

V tomto prípade je najdôležitejším parametrom dĺžka drevných vlákien, dobrá rozvlákateľnosť a nízky obsah lignínu a hemicelulóz. Vláknó je vhodnejšie vyrábať z ihličnatých drevín než listnatých, pre ich omnoho rôznorodejšiu štruktúru.

B) Geometria, veľkosť a orientácia vlákien

Kompozitné materiály na báze dreva vykazujú, rovnako ako výrobná surovina, anizotropné správanie, kde na rozdiel od dreva je možné stupeň anizotropie týchto materiálov upravovať veľkosťou a orientáciou častíc. To je ďalšia podstatná výhoda týchto materiálov, pretože ich vlastnosti v jednotlivých smeroch môžu byť riadené podľa požiadavkou na konečný produkt. Tiež variabilita mechanických vlastností je u kompozitných materiálov menšia než v prípade nehomogénneho prírodného materiálu – dreva.

Všeobecne platí, že pre materiály s rovnakou hustotou, so zmeňujúcou sa veľkosťou častíc klesá pevnosť. S rastúcou veľkosťou častíc sa súčasne tiež zvyšuje variabilita hustotného profilu a tým aj potenciálne vnútorné pnutie. So zmeňujúcou sa veľkosťou častíc sa zlepšuje možnosť ich formátovania, čo má za dôsledok stúpajúcu hustotu. Keďže mechanické vlastnosti dreva sú niekoľkonásobne vyššie v smere pozdĺž drevných vlákien než v smere naprieč vlákien, je ich orientácia dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje pevnosť v ohybe a modul pružnosti v ohybe materiálu na báze dreva. [9]

C) Lisovacie parametre

Proces lisovania ovplyvňuje vlastnosti výsledného produktu viac než ktorákoľvek iná výrobná etapa. V priebehu lisovania dochádza k mnohým interakciám medzi fyzikálnymi faktormi a k chemickým reakciám, ktoré doposiaľ nie sú úplne popísané. Polyméry dreva prejavujú vysokú škálu správania sa v závislosti na teplote, vlhkosti a lisovacom čase. Od krehkého stavu pri nízkych vlhkostiach, teplote a krátkom lisovacom čase až po plastický stav pri vysokej lisovacej teplote, vlhkosti a dlhom čase. Pri tradičnom lisovaní vo vyhrievaných etážových lisoch je trieskový koberec formovaný medzi dvoma vyhrievanými kovovými doskami až do úplného stlačenia. [9]

Voľbou lisovacieho tlaku sa môže zmeniť stupeň zhustenia, sformovania a akosti lepenia. Veľkosť lisovacieho tlaku a typ lisovacieho diagramu sa prejaví tiež v hustote trieskových dosiek a na ostatných fyzikálnych a mechanických vlastnostiach. Veľkosť tohto tlaku sa obvykle pohybuje v rozmedzí 0,6 MPa (mäkké preglejky) až 6 MPa (OSB). [9]

D) Priechny hustotný profil

Dosky z materiálov na báze dreva je vhodné vyrábať so strmým priečnym hustotným profilom (tvar písmena „U“) z dôvodu ohybového namáhania v povrchových vrstvách materiálu. Takéto dosky dosahujú vyššie hodnoty ohybovej pevnosti a modulu pružnosti v ohybe než dosky s rovnomerným priečnym hustotným profilom. [9]

E) Vlhkosť

Akýkoľvek materiál na báze dreva, nech je už pre konštrukčné alebo nekonštrukčné účely, prijíma z okolitého prostredia vlhkosť vo forme vodnej par a to v závislosti na vlhkosti materiálu, teplote a relatívnej vlhkosti okolitého vzduchu. Po pôsobení vyššej vzdušnej vlhkosti na materiály na báze dreva obvykle dôjde k zníženiu ich pevnostných vlastností a k trvalému hrúbkovému napučaniu. Často sa dochádza aj zmenám vzhľadu a v extrémnych prípadoch môže vplyvom vlhkosti dôjsť až porušeniu celistvosti dosiek. Odstránením vlhkosti z dreva nastáva navrátenie jeho pôvodných rozmerov. Naproti tomu u materiáloch na báze dreva je možnosť tohto vratného napučania nižšia. [9]

F) Rovnovážna vlhkosť

Vysoká teplota pri sušení a tlak pri procese lisovania z určitého hľadiska regulujú hygroscopicitu drevených častí. To má za následok zníženie rovnovážneho obsahu vlhkosti u aglomerovaných materiáloch až o 3% oproti rovnovážnemu obsahu dreveniny použitej vo výrobe. [9]

Orientačné hodnoty rovnovážnej vlhkosti materiálov na báze dreva sú zobrazené v *Tabuľke 4*.

Obsah vlhkosti (%) pri teplote 20°C			
Vlhkosť vzduchu	Masívne drevo	Preglejka	Drevotrieskové dosky
10	2,5	1,2	0,8
20	4,5	2,8	1,0
30	6,2	4,6	2,0
40	7,7	5,8	3,6
50	9,2	7,0	5,2
60	11,0	8,4	6,3
70	13,1	11,1	8,9
80	16,0	15,3	13,1
90	20,5	19,4	17,2

Tabuľka 4 – Obsah vlhkosti dosiek na báze dreva v závislosti na relatívnej vlhkosti [9]

3.2 Lepené lamelové drevo

Čo sa týka stavebníctva a obyvateľstva, tak sa začali nároky človeka na priestor postupom času zvyšovať. Bolo potrebné budovať haly pre priemysel a takisto boli nutné priestory pre spoločenské aktivity. Rastlé drevo je obmedzené svojou veľkosťou, čo bolo dôvodom snahy drevo nadstavovať a skladať.

Lepené lamelové drevo je konštrukčný materiál vyrábaný z bežného piliarskeho reziva, v ČR začala výroba v roku 1952. Princíp výroby lepeného lamelového dreva spočíva v plošnom zlepení drevených lamiel na seba. Týmto spôsobom sa vyrábajú priame alebo tvarové nosníky, ktoré majú široké možnosti použitia v stavebníctve, predovšetkým pre strešné konštrukcie. Lepené lamelové drevo je vyrobené z dĺžkovo nastaviteľných lamiel, hrúbkovo zlepených v niekoľkých vrstvách. Povrch je štvorhranne frézovaný, prípadne brúsený. Výrobky bývajú spravidla vytvorené pre požiadavky odoberateľa. [9]

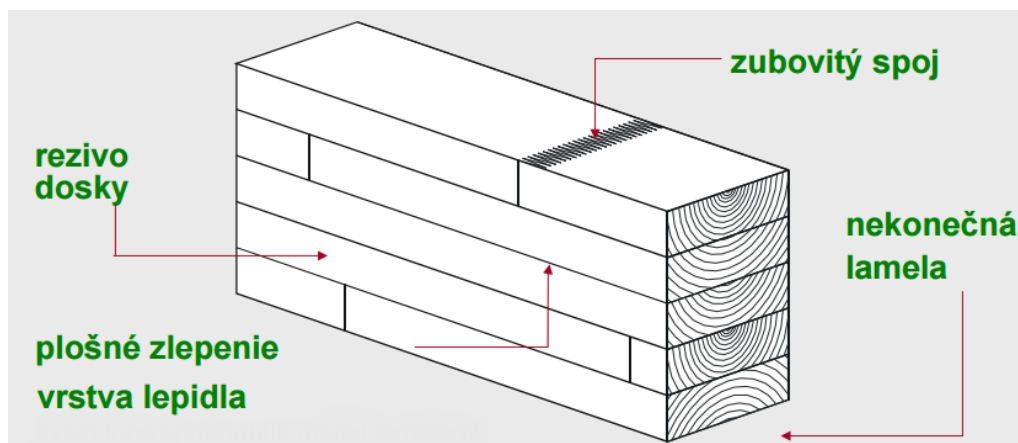
3.2.1 Výroba lepeného lamelového dreva

Lamelové drevo je vyrábané väčšinou zo smrekového dreva, niektorí výrobcovia ponúkajú však aj smrekovec a dub. Materiál používaný na výrobu lamelového dreva (fošne alebo silnejšie dosky) je pred vlastnou výrobou usušený v sušiarňi na vlhkosť $15\pm 3\%$. Vhodná vlhkosť výstupného materiálu je dôležitá pre tvarovú a rozmerovú stálosť konečného výrobku. Výrobné linky tvoria jednotlivé obrábacie stroje prepojené pozdĺžnymi a priečnymi

dopravníkmi. Vzhľadom k potrebe manipulovať so zlepeným prvkom sa najmä v záverečnej fáze výroby používajú žeriavové dráhy s ťažkými dopravníkmi.

- Prvá operácia na usušenom rezive je označenie hrčíc, trhlín a ich vyrezanie na automatickej skracovacej píle. Vzniknuté rôzne dlhé prierezy sú po niekoľkých kusoch presunuté k automatickej čapovacej fréze, kde sú na oboch stranách vytvorené zubkovité spoje a nanesené lepidlo.
- Lepidlá použité pre lepenie musia spĺňať normované požiadavky na pevnosť a odolnosť proti pôsobeniu vlhkosti. Pre dĺžkové lepenie lamiel sa väčšinou používa modifikované PVAC lepidlo.
- Jednotlivé prierezy s naneseným lepidlom sú okamžite dopravníkom presúvané do priebežného pozdĺžneho lisu a dĺžkovo lisované. Vzniká veľmi dlhá neopracovaná lamela, ktorá je skracovaná na požadované rozmery. Potom sa lamely presunú do skladu, aby došlo k vytvrdnutiu lepidla.
- Po vytvrdnutí prechádzajú lamely štvorhrannou frézou, a sú ofrézované na presne požadované rozmery.
- Po vyfrézovaní nasleduje nanášanie vrstvy lepidla polievacou alebo postrekovou nanášačkou. Používa sa fenol – formaldehydové lepidlo, ktoré vytvorí tmavú lepenú škáru. Používajú sa aj drahšie varianty lepidla, ktoré zanechávajú bezfarebnú škáru. Lepidlo zaisťuje požadovanú pevnosť spojov, a to v priebehu celej životnosti konštrukcie, preto je potrebný výber kvalitného lepidla, a to predovšetkým u oblúkových nosníkov, kde je samotný tvar fixovaný lepením jednotlivých lamiel.
- Po lepení sa lamely presunú k skrutkovým lisom. Po zložení lepeného prvku je vyvíjaný tlak v lisovacích jednotkách. Tam lepidlo tvrdne po dobu niekoľkých hodín za teploty okolitého vzduchu.
- Po vytiahnutí z lisu sa lepený prvok prenesie k dvojstrannej hrúbkovej fréze, kde sa hrúbkovo ofrézuje. Prvok sa ďalej skracuje na presnú dĺžku a to väčšinou pomocou ručných nástrojov. Týmto spôsobom sa vyhotovujú aj konštrukčné spoje a osadenie kovania.

V ponuke bývajú väčšinou dve pohľadové akostné triedy – bez upravených drobných pohľadových chýb a akosť s upravenými chybami a prebrúsením. Na hotovom výrobku sa tiež často vyhotovuje povrchová úprava ochrannými a dekoračnými náterovými systémami. Nátery sa pre rozmery a náročnú manipuláciu robia ručne. [9]



Obr.7 Skladba Lepeného lamelové nosníka [9]

3.2.2 Použitie lepeného lamelového dreva

Lamelové drevo je predovšetkým určené na výstavbu skeletových systémov, viacúčelových hál, štadiónov, veľkorožponových konštrukcií, pre zastrešenie pohľadovo náročných priestorov (divadlá, obytné podkrovia), lávok a mostov. Pre väčšie rozmery sa bezproblémovo nosníky spájajú z viacerých kusov. [9] [10]



Obr. 8 Lávka z LLD [12]



Obr. 9 Zastrešenie haly z LLD [9]

3.2.3 Zhrnutie charakteristiky lepeného lamelového dreva

Lepené lamelové drevo je konštrukčný prvok vytvorený zlepením dĺžkovo nastavených drevených lamiel s prevažne rovnobežnými vláknami.

Pre nastavenie lamiel sa používajú veľké zubové spoje s dĺžkou ozubu najmenej 50 mm.

Horizontálne lamelované lepené drevo je také, kde lepené škáry sú kolmé k dlhšej strane prierezu, pri ohybovom namáhaní pôsobí zaťaženie kolmo k širšej ploche lamiel.

Vertikálne lamelované lepené drevo je také, kde lepené škáry sú kolmé ku kratšej strane prierezu. Tento prípad je výrobne ojedinelý.

3.2.4 Výhody LLD

- Umožnená výroba tvarových nosníkov
- Triedy pevnosti podľa harmonizovaných noriem
- Presné tvarové prevedenie
- Rozmerová stabilita, kvalitný povrch
- Veľká variabilita rozmerov, prierezov a dĺžok [9] [10]

3.3 Špeciálne drevené nosníky

V minulosti sa pre zvyšovanie únosnosti drevených trámov používalo najčastejšie spojenie dvoch a viac kusov do jedného celku pomocou železných skôb alebo svorníkov. V súčasnosti sa dosahuje efektívnejšieho využitia pevnostných vlastností zväčšením prierezu nosníka (najmä ich výšky). Vznikajú tak špeciálne typy nosníkov, napríklad nosníky so stenou zo zbíjaných dosiek, nosníky so stenami z materiálu na baze dreva, duté kruhové nosníky, nosníky tvaru T a zrejme najpoužívanejšie I-nosníky. Zvyšovanie nosnosti môže byť dosiahnuté aj vystužovaním nosníkov vláknami s vysokou pevnosťou. [9]

3.3.1 I – nosníky

Tieto nosníky v tvare písmena „ I “ sú vyrobené z hornej a dolnej pásnice, ktoré sú v strede spojené stojinou. Niekedy bývajú tiež označované ako „H“ nosníky alebo ako dvojité „T“ nosníky. Na výrobu pásnic sa obvykle používa masívne drevo, respektíve dĺžkovo nastavované drevo alebo vrstvené drevo. Konštrukcia stojiny je obvykle vyhotovená z preglejky, OSB dosiek alebo tvrdených vláknitých dosiek.

Tieto nosníky sú používané najmä na preklenutie väčších rozpätí. Oproti nosníkom z rastlého dreva majú výhodu, a to takú že pre zaistenie rovnakej pevnosti nie je potrebné také množstvo materiálu. Ďalšou výhodou je ich veľká pevnosť oproti hmotnosti. Nevýhodou je ich štíhly tvar, pre ktoré je nutné zaistiť nosník proti klopeniu. [9]

3.3.2 Vystužované nosníky

Pri namáhaní nosníka na ohyb pôsobí najväčšie napätie v jeho povrchových vrstvách (v spodných ťahové, horných tlakové). Vystužovanie je teda na spodnej strane nosníka vyhotovované pomocou materiálov s vyššou pevnosťou v ťahu – predpätými oceľovými prútmi a vláknami s vysokou pevnosťou (*Obr.10*). Na hornej strane sa aplikujú materiály s vysokou pevnosťou v tlaku – napríklad spriahnuté drevo – betónové konštrukcie. Pokiaľ sa k zosilňovaniu použijú vlákna s vysokou pevnosťou, obvykle sa neaplikujú do najspodnejšej vrstvy nosníka, ale pod vrstvu ochrannú. [9]



Obr. 10 Lepený lamelový nosník vystužený vláknami s vysokou pevnosťou [9]

Ďalšou možnosťou zvyšovania pevnosti je výroba napríklad lomených, kombinovaných, predpätých, priehradových nosníkov rôzneho tvaru a typu. [9]

4 Lávka

Definícia lávky (mostu) je, že je to stavebné dielo slúžiace k prekonaniu prekážky, respektíve prevedeniu komunikácie cez túto prekážku, so svetlosťou pod lávkou väčšou než 2 m. Mostný objekt je nedeliteľnou súčasťou dopravnej cesty nahradzujúci zemné teleso.

Čo sa týka lávok, je to konštrukcia slúžiaca predovšetkým pre chodcov a cyklistov, nesmie byť použitá ako cestná alebo železničná spojnica, s výnimkou vozidiel údržby alebo inej výnimočnej situácie pojazdu, kde je potrebné dbať na maximálnu návrhovú únosnosť.

Drevené lávky a mosty sú predovšetkým vhodné z architektonických, estetických a ekologických hľadísk. Vyznačujú sa nízkymi výrobnými, prepravnými a montážnymi nákladmi. Náklady na ich zakladanie, podpory a opory sú tiež nízke. Ich výhodou je nízka vlastná tiaž a jednoduchá a rýchla montáž..

4.1 Základné pojmy

Každá mostný objekt má spodnú a vrchnú stavbu.

Vrchná stavba je zložená z nosnej konštrukcie mosta a z mostného zvršku. Čo sa týka nosnej konštrukcie, tak sa skladá z hlavnej nosnej konštrukcie, mostovky, stužení, ložísk, kĺbov a v neposlednej rade dilatačných mostných záverov. Vo veľkom množstve prípadov niektoré časti nosnej konštrukcie odpadajú, splývajú, alebo plnia viacero funkcií súčasne. Napríklad pri doskových mostoch tvorí doska mostovku aj hlavnú nosnú konštrukciu.

Spodná stavba je zložená z mostných podpôr a základov. Podpory majú rozdielne priestorové uloženie, a teda aj rôzne názvy. Podpory krajné (koncové) sa nazývajú opory, medziľahlé (vnútorné) podpory majú viac pomenovaní. Tie záležia na tvare a type, napríklad piliere, stĺpy, stojky, steny, bárky a podobne. Základy, ako u iných konštrukcií, slúžia na prenos zaťaženia do základovej pôdy. Podľa tvaru sa rozlišujeme plošné a hlbinné základy.

Časti mosta ako zábradlie, osvetlenie, revízne zariadenia, zvodidlá, vedenie elektroinštalácií, telekomunikácií, potrubia a ochranné kryty sa všeobecne nazývajú mostným vybavením.

Každý voľný priestor pod mostom (lávkou), ktorý umožňuje prejazd, priechod, prietok alebo priehľad naprieč sa nazýva mostný otvor. Konštrukčný systém a vzhľad mosta je ovplyvnený jeho rozmerovými parametrami, a to napríklad svetlosťou mostného otvoru, čo je vzdialenosť medzi lícami podpôr. Dôležitá je aj dĺžka premostenia, za ktorú považujeme vzdialenosť líc krajných podpôr v smere osy komunikácie, ďalej je to rozpätie konštrukcie, ktorým označujeme vodorovnú vzdialenosť teoretických podporných bodov mosta. Čo sa týka výškových pojmov, je dôležité uviesť na pravú mieru, že niveleta komunikácie je súčasne aj niveletou mosta. V tom prípade rozdiel medzi niveletou mosta a najnižšie položeným bodom nosnej konštrukcie mosta, a to vrátane priehybu a navýšenia, je stavebná výška. Konštrukčnou výškou je pomenovaná vlastná výška ktoréhokoľvek prvku.

Neoddeliteľnou časťou je priestorová úprava na moste a pod ním, ktorá určuje prejazdný mostný prierez, v prípade pozemných komunikácií tzv. dopravný priestor. Rozmery týchto priestorov závisia na konkrétnej kategórii prevádzanej a prekonávanej komunikácie. Čo sa týka delenia mostov (lávok) podľa typu, tak sa jedná o vlastnosti mostného objektu.

4.2 Delenie lávok

Z hľadiska vonkajšieho vzhľadu rozdeľujeme drevené lávky na kryté a nekryté. Zastrešenie lávky je v zásade najjednoduchší a zároveň najúčinnnejšie spôsob, ako dosiahnuť dlhodobú životnosť. Konštrukcia lávky od mostu sa líši aj veľkosťou pôsobiaceho zaťaženia.

Delia sa teda podľa:

a) Materiálu

- Drevené
- Kamenné
- Oceľové

- Betónové
- Drevo betónové

b) určenej doby trvania

- Definitívne
- Dočasné
- Rozoberateľné

c) Podľa geometrie pôdorysu

- Kolmé – podoprené na oporách kolmo k ose mosta
- Šikmé – podoprené šikmo k pozdĺžnej ose mosta

d) Pôsobenia na podpery

- Lávky so zvislými podporovými tlakmi (trámovým účinkom) – napríklad mosty trámové, oblúky s tiahlom a niektoré mosty visuté, či zavesené (kotvené do výstužného trámu)
- Lávky so šikmými podporovými tlakmi

e) Polohy mostovky

- S hornou mostovkou
- So zapustenou mostovkou
- S medziľahlou mostovkou
- S dolnou mostovkou

f) Počtov polí

- O jednom poli
- O viacerých poliach

g) Funkcie

- Pevné
- Pohyblivé (zdvižné, sklopné, otočné)
- Plávajúce (pontónové, loďové)

4.3 História drevených mostov a lávok

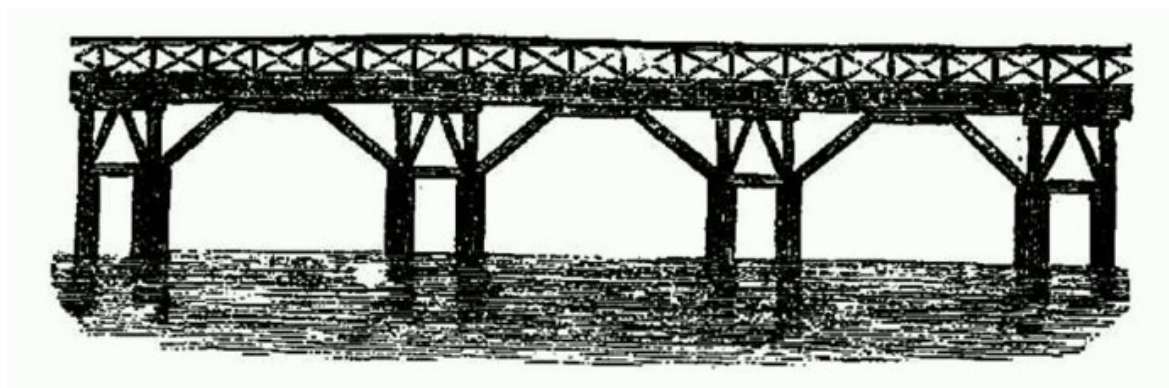
Vývoj ľudskej spoločnosti bol od počiatku spätý s rozvíjaním vzájomných stykov, ktoré vyžadovali vytváranie dočasných a trvalých dopravných spojení. Človek bol nútený prekonávať rôzne prekážky a stal sa veľmi skoro staviteľom mostov a lávok.

Najstaršími stavebnými materiálmi boli kmene stromov a laná spletené z prírodných vlákien. Kmeň stromov položený cez potok bol prvým druhom premostenia. Národy dávnej

minulosti, ako Sumerovia, Babylončania, Egypťania, stavali klenuté kamenné a tehelné mosty a to už 4000 rokov pred našim letopočtom. [13]

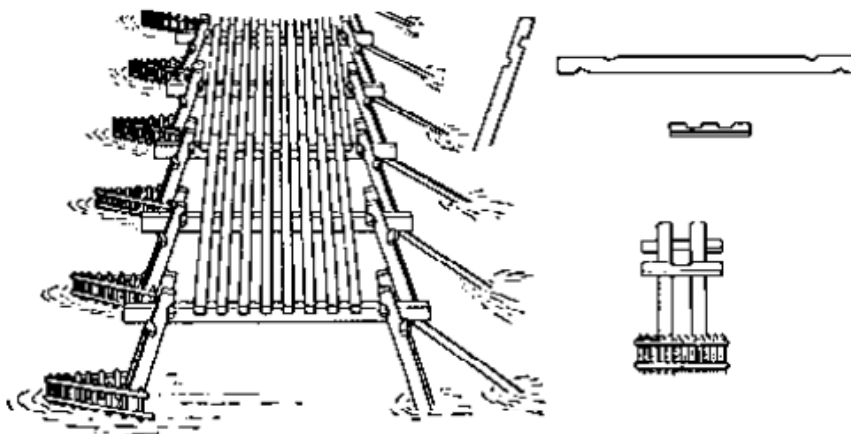
4.3.1 Najstaršie nezachovalé drevené lávky a mosty

Najstaršie historicky zaznamenané drevené mosty pochádzajú z obdobia okolo roku 600 pred našim letopočtom. Patrí k nim napríklad veľmi známy trámový most cez rieku Tiberu v Ríme (Pons Sublicius), postavený v roku 625 pred našim letopočtom (*Obr. 11*). Predpokladá sa, že tento most bol vystavaný z hrubých drier, ktoré podopierali iné. Na pilótoch so statívom boli uložené pozdĺžne trámy a na nich mostovka. [12]



Obr. 11 Most cez rieku Tiberu Pons Sublicius [14]

V roku 54 pred našim letopočtom postavili špecializované čaty rímskych vojsk 430 m dlhý drevený most cez rieku Rýn (*Obr. 12*). Zaujímavé je, že stavba tohto mosta trvala len desať dní. Historické pramene nazývajú tento most tzv. Caesarovým mostom, pretože on sám ho opisuje v jeho pamätiach.



Obr. 12 Caesarov most [17]

Z obdobia prelomu nášho letopočtu stojí za zmienku ešte oblúkový drevený most cez rieku Dunaj, postavený v roku 103 nášho letopočtu. Svetlosť polí mosta bola 35 m, šírka pilierov 18 m a dĺžka až 1070 m. staviteľom tohto mostu bol údajne Apollodor z Damasku.

Po páde Rímskej ríše nastal v Európe veľký úpadok v mostnom staviteľstve. K obratu došlo až v desiatom storočí, kedy sa začali rozvíjať mestá založené na brehoch riek a ich hospodársky rozvoj vyžadoval dopravné spojenie. Z tejto doby pochádza niekoľko významných mostov. Drevo ako materiál na výstavbu mostov však upadal a do popredia sa dostávali mosty z kameňa. [15]

V období stredoveku vznikali drevené mosty aj na našom území, konkrétne v Prahe. Už v roku 795 bol vybudovaný jeden z prvých mostov. Tento most však už nestojí a nie je úplne isté, kedy došlo k jeho zrúteniu. [15]

Cez rieku Vltavu na konci 10. storočia vznikol drevený most, ale bol zničený pri povodni v roku 1118. Ďalší drevený most, ktorý viedol cez rieku Labe, dlhý 180 m bol vybudovaný v 14. storočí. [15]

Jedným z historických mostov, o ktorých sú len domnienky je Prašný most (*Obr. 13*), ktorý dal údajne postaviť Ferdinand I. pred bránou Pražského hradu pri druhom nádvorí v roku 1536. Nie je jednoznačne známe, ako získal svoje meno. Možné vysvetlenie je, že sa v jeho krajných vežiach uchovával strelný prach, alebo sa na ňom veľa prášilo. Koncom 18. storočia bol most zrušený a nahradený násypom. [15]



Obr.13 Prašný most – dobový obrázok [15]

V rokoch 1755 až 1758 tesársky majster H. U. Grubenmann postavil veľmi známy most Rheinbrücke v Schaffhausene. Mostnú konštrukciu koncipoval ako prostý nosník na rozpätie 104 m (*Obr. 14*). Pod tlakom úradov však musel do stredu mosta umiestniť oporný pilier.

Krátko po postavení mosta odstránil úložné prvky nad stredovým pilierom, aby ukázal, že jeho návrh bol správny. [15]



Obr.14 Rheinbrücke – model mosta [15]

Vynikajúci ruský mechanik I. P. Kulibin navrhol v roku 1776 premostenie Nevy v Petrohrade dreveným oblúkovým mostom s rozpätím 298 m. V mierke 1:10 bol vyhotovený model mosta, ktorý bol podrobený zaťažovacej skúške. Aj napriek tomu, že skúška dopadla veľmi dobre, projekt mosta nebol realizovaný. Skúšky sa zúčastnil aj znamenitý matematik, fyzik a mechanik Leonhard Euler. Spolu s Kulibinom skúšku využili k overeniu teórie vzperu prúta. Obdobnú históriu má aj projekt tesárskeho majstra Ránka z roku 1838, ktorý navrhol drevenú krytú lávku pre peších cez rieku Vltavu s rozpätím 197 m. [15]

V prípade Slovenska prvé mosty vybudovali pravdepodobne Rimania počas svojich vojnových výprav za Limes Romanus. Išlo hlavne o drevené trámové mosty, respektíve o provizórne pontónové mosty. O stavbe trámových mostov sú známe poznatky aj z územia Veľkej Moravy. Na dno rieky boli ukotvené pomocou podporných drevených pilierov, tzv. bárok. Zdokonaľovaním ich konštrukcie sa zvyšovala ich nosnosť aj životnosť. Vrcholom dreveného mostného staviteľstva sú kryté mosty vešadlovo - vzperadlové sústavy, ktoré sa zachovali najmä z 18. storočia. Väčšina zanikla pri rozširovaní a modernizácii ciest, pri povodniach, niektoré aj počas vojny alebo povstaniach. [16]

4.3.2 Zachované historické drevené lávky a mosty

Na území Českej a Slovenskej republiky, ale aj po celom svete, je množstvo krásnych historických drevených mostov a lávok, ktoré sú dodnes funkčné a je možné obdivovať ich konštrukčné riešenie a estetickú stánku, aj napriek ich veku. Bohužiaľ veľa z nich už bolo

demontovaných, či už z bezpečnostného hľadiska alebo zlyhali z hľadiska trvanlivosti. Súhrnne sa však dá povedať, že na našom území vznikalo pomerne veľa drevených mostov a lávok.

V čele európskych staviteľov drevených mostov stáli od 14. do 19. storočia Švajčiari, ktorý postavili radu unikátnych mostov. Jedným z najstarších drevených mostov Európe, ktorý sa zachoval do súčasnosti, je most Kapellbrück v Lucerne (*Obr. 15*). Bol postavený v roku 1333, ale v priebehu storočí bol niekoľkokrát prestavaný. Pôvodná dĺžka mosta bola 285 m, ktorá bola v 19. storočí redukovaná na 222 m. Most je zastrešený a jeho konštrukciu tvoria prosté nosníky uložené v rade za sebou na pilótach. V roku 1993 bola veľká časť mosta zničená pri požiari. Novo zrekonštruovaný most pôvodného tvaru bol otvorený v apríli 1994, avšak len ako lávka pre peších. [15]



Obr. 15 Kapellbrück [15]

Najstarší dochovaný cestný most z dreva na tuzemsku pochádza z roku 1718 a nachádza sa v starobylej oblasti Černvín na Morave (*Obr. 16*). Most má dĺžku 32 m a šírku 2,6 m. Tento most prekonáva rieku Svratku a je chránený ako kultúrna pamiatka Českej republiky. Mostovka trámového mosta vešadlovej konštrukcie je v priemernej výške 4 m nad hladinou rieky. Bočné parapety majú výšku 1,5 m a nad nimi je meter vysoký priehľad na rieku. Strecha je sedlová a krytá šindľom. Most bol postavený predovšetkým z jedľového dreva, niektoré časti z dreva dubového. Uprostred riečiska stojí na kamennom pilieri, na východnom v brehu na kamennej opore, západný breh má skalnaté podlažie. V rokoch 1858, 1906, 1939, 1971, 1996 a 2008-2009 bol rekonštruovaný. Verejnej doprave slúžil do roku 1954, kedy ho nahradil v tesnej blízkosti železný most, miesto ktorého v roku 1980 vybudovali cestný most betónový. [15]



Obr. 16 Most Červín [15]

Na Slovensku sa do dnešných dní zachoval historický most v oblasti Spiša. Drevený krytý most pri Kluknave (*Obr.17*) leží na rieke Hornád na ceste do miestnej časti Štefanská Huta. Most pochádza z roku 1832, má dĺžku 27 metrov a šírku takmer 4 metre. Postavili ho z kvalitného červeného smreka pre potreby významného mediarskeho podniku. Upevnený je na kamenných pilieroch na brehu rieky. Most je vešadlovej trámovej konštrukcie. Okrem bočného debnenia, ktoré tvorí zábradlie mosta, chráni mostovku dvojspádová šindľová strieška. V hrebeni dosahuje výšku 6 metrov. Z oboch strán má strieška doštené štítové debnenie s ozdobným kolíkom na pántovom tráme. V osemdesiatych rokoch 20. storočia bol most zrekonštruovaný do súčasnej podoby. [16]



Obr. 17 Historický most pri Kluknave [16]

Ďalšími pozoruhodnými lávkami sa dajú nazvať drevené mosty na juhovýchode Číny. Skupina týchto lávok bola postavená takmer pred 1000 rokmi a stále sú v prevádzke. Tieto mosty poukazujú na skutočnú zručnosť majstrov tesárov, sú zavesené medzi dvoma útesmi a sú postavené zo stromov, ktoré ich obklopujú. Nachádzajú sa v provinciách Fuijuan a Zhejiang pozdĺž pobrežia. Tieto mosty sú uvedené medzi kultúrne pamiatky. Jeden z nich, v meste Fuzhou v provincii Fijuan, ktorý bol postavený v roku 1148, je zobrazený na *Obr. 18* je 62,7 metrov dlhý a 4,9 metra široký. Niekoľkokrát došlo k prestavovaniu tohto unikátneho diela, ale aj napriek tomu ostáva ikonickým obrazom čínskych stavebných metód. [17]



Obr. 18 Drevený most v meste Fuzhou v Číne [17]

Ďalším zachovaným dreveným mostným objektom je most Bogoda (*Obr. 19*). Bol postavený v 16. storočí a je najstarším mostom na Srí Lanke. Most sa nachádza 7 kilometrov na západ od Badulla. Všetky časti tohto mosta sú vyrobené z dreva, a to aj vrátane drevených klincov ako upevňovacieho materiálu. Zaujímavosťou je, že všetky prvky použité na výstavbu pochádzajú len z jedného stromu.. Konštrukcia mosta stojí na obrovskom kmeni vo výške 11 metrov. Ako stavebný materiál bola použitá predovšetkým guľatina. [17]



Obr. 19 Most Bogoda na Srí Lanke [17]

Sewallov most (Obr.20) je pozoruhodným príkladom dobového mosta, z dôvodu diaľničnej prevádzky ponad vodné cesty Nového Anglicka. Je to najstarší priehradový most, pri ktorom existuje autentický záznam konštrukcie a projektovej dokumentácie. Most bol navrhnutý a konštruovaný inžinierom Samuelom Sewallom v roku 1742. Postavený však bol o 20 rokov neskôr kvôli nepokojom vo francúzskych kolóniách. [17]



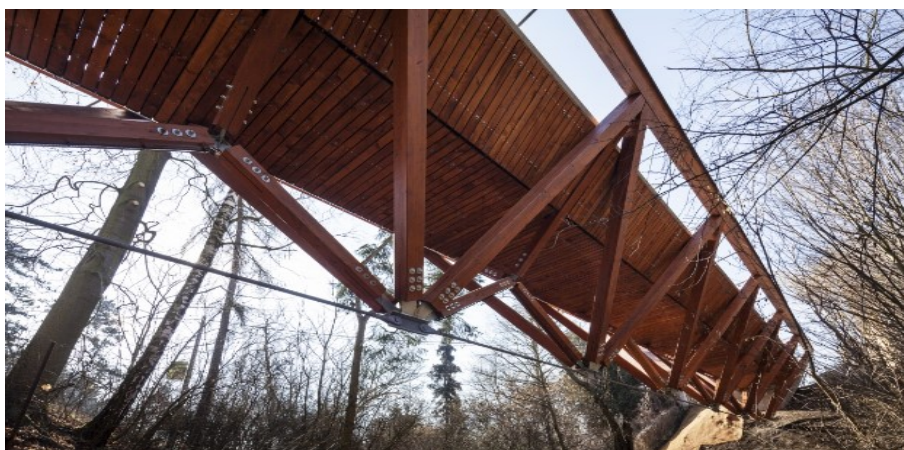
Obr. 20 Sewall's Bridge [17]

4.3.3 Moderné lávky

V dnešnej dobe sa výstavba lávok z dreva dostáva do popredia. Tomu napomohol vývoj lepeného lamelového dreva a vznik kompozitných materiálov. Tieto materiály sú spomenuté v kap. 3.2. a 3.3. V tejto časti práce je uvedených pár príkladov.

Lávka k vrchu Knihov (Obr. 21) je určená pre peších a cyklistov, prepojuje centrum mesta a rozsiahlu obytnú časť. Stavba využíva priaznivé konštrukčné vlastnosti dreva ako hlavného

zvoleného materiálu, jeho dostupnosť a ľahkú opracovateľnosť. Tuhosť zvolenej priestorovej priehradovej konštrukcie, zopnutej mostovkou je materiálovo úsporným riešením vyhovujúcim potrebnému rozponu. Lávka je navrhnutá z dvoch hlavných vodoravných nosníkov rozmerov 200x260 mm, respektíve trámov rozmerov 150x150 mm zo smrekového masívu, tvoriacich šikmé časti priehradovej konštrukcie. Nosníky sú medzi sebou spojené žiarovo zinkovanými oceľovými svorníkmi a kotvené kĺbovými oceľovými spojmi do betónového základu. Ťahové sily na spodnej strane priestorového nosníka zachytáva oceľové tiahlo priemeru 40 mm, kotvené do oceľových svorníkov umiestnených v hrotoch jednotlivých polí priehrady.



Obr. 21 Priestorová priehradová lávka k vrchu Knihov [16]

Za modernú lávku možno považovať aj drevenú lávku v meste Zvolen (Obr.22). Je to drevo oceľová konštrukcia pre peších charakteristického rezu osemuholníkového polygónu s vpísaným štvorcom. Rozpätie lávky je 26 metrov, vzopätie oblúka 0,96 metra a šírka mostovky 3 metre.



Obr. 22 Lávka pre peších v meste Zvolen [16]

Veľmi zaujímavým príkladom moderných lávok je aj Leonardov most v Nórsku (Obr.23). Jeho rozpätie je 204 m. most slúži ako prechod pre chodcov, teda z hľadiska termínov je to lávka. Je vybudovaná z dostupných zdrojov v oblasti Nórska miestnymi remeselníkmi.



Obr. 23 Leonardova lávka [17]

4.4 Konštrukčný systém lávok

Za účelom dosiahnutia najlepších úžitkových vlastností lávok a mostov musíme pri ich navrhovaní uvážiť nasledujúce podmienky a požiadavky:

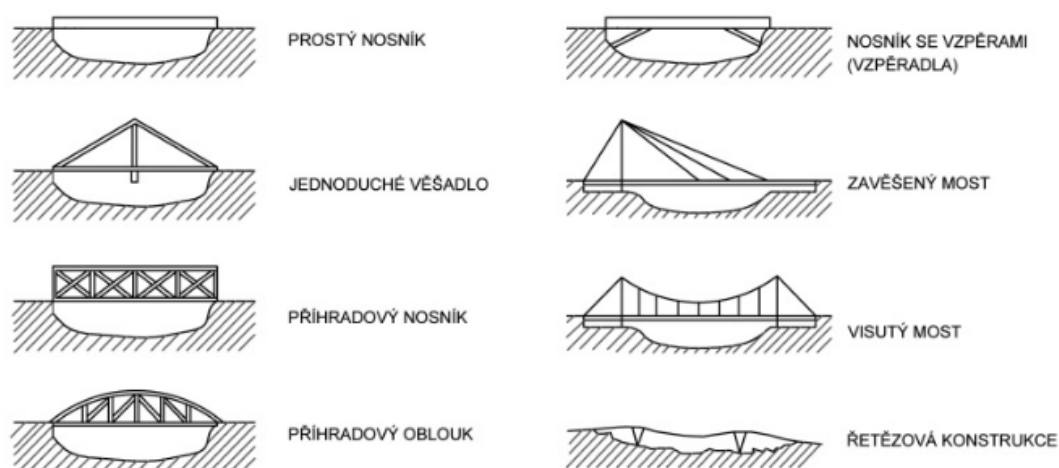
- Poloha a tvar terénu
- Rozpätie
- Zaťaženie
- Pojazdnu výšku a svetlý profil
- Základové pomery
- Architektonický tvar

Kľúčovým problémom drevených lávok a mostov je zaistenie ich životnosti a trvanlivosti. Všetky otázky ochrany a údržby dreva je treba zvažovať už v priebehu spracovania projektu, pričom je nutné prihliadať na konštrukčnú ochranu dreva. Drevo ako prírodný materiál je súčasťou kolobehu rastu a rozkladu. Je mnoho spôsobov ochrany, napríklad snaha udržať drevo v suchom stave, aplikáciou rôznych lazúr a impregnácií. V neposlednom rade je potrebné dbať na spojovacie prostriedky, zabezpečovať protikoróznú ochranu, ako napríklad žiarové zinkovanie alebo iné ochranné vrstvy. Okrem spomínaných je nepríjemným spôsobom drevo napádané aj drevokaznými hubami a biotickým škodcami. Tomu sa dá predísť použitím lepených alebo sušených profilov.

Trvanlivosť drevených lávok a mostov je ovplyvnená aj voľbou konštrukčného systému. Táto kapitola je zameraná na jednotlivé konštrukčné systémy a ich výhody a nevýhody z hľadiska trvanlivosti a použitia. [18]

Delenie z hľadiska konštrukčného systému:

- Doskové a trámové
- Priehradové nosníky
- Vešadlá
- Vzperadlá
- Rámové systémy
- Oblúky
- Zavesené mosty
- Visuté mosty
- Reťazový systém



Obr.24 Konštrukčné systémy mostov a lávok [18]

4.4.1 Doskové a trémové lávky

Doskové mosty, u ktorých je doska mostovky súčasne nosnou konštrukciou, sa v drevenom prevedení vyskytujú veľmi málo. V poslednom čase sa však dostávajú do popredia drevo - betónové doskové mosty. Spojením výhod týchto materiálov vzniká veľmi výhodný konštrukčný systém. Betónová doska prenáša tlakové namáhanie a drevo, či už drevené dosky alebo lepené nosníky výhodne eliminujú ťahové namáhanie. Pre spojenie betónovej dosky s drevenými nosníkmi / doskami sa používajú sprahovacie prvky, prostredníctvom ktorých je vytvorené spolupôsobenie. Výhodou tohto systému je, že konštrukčná výška pri drevo - betónových lávkach je malá.

Drevené trémové lávky sa používajú obmedzene, ale majú svoje opodstatnenie napríklad pri premosteniach otvorov menších svetlostí pre prevádzku menej zaťažených komunikácií najmä v prírodnom prostredí, kde je ich pôsobenie ekologickejšie a estetickéjšie než pri betónových alebo oceľových lávkach. Ide o pozdĺžne nosníky, pri mostoch a lávkach sa jedná najmä o nosníky z lepeného lamelového dreva. Nosníky trémových mostov sú plné alebo priehradové, zo statického hľadiska sú výhodnejšie spojité. Rozpätie drevených lávk tohto typu sa pohybuje v rozmedzí od 5 metrov do 32 metrov.

Jedným z mostov s týmto konštrukčným systémom je most Brikbergský most v Nemecku (*Obr.25*), ktorý je jedným z najstarších kompozitných drevo - betónových mostov pre ťažkú dopravu. Tento projekt je braný ako priekopník, pretože ukazuje schopnosti tohto typu mosta, ako aj jeho štrukturálne výhody. Betónová doska pokrýva lepené nosníky (*Obr.26*), tvorí odolnú konštrukciu a zároveň zaručuje, že ochráni drevo pred vlhkosťou. Jeho dĺžka je 16,40 metrov a šírka 4,50 metra. Postavený bol v roku 2008. [17]



Obr.25 Brikbergbrücke [17]



Obr.26 Lepené nosníky s betónovou doskou [17]

4.4.2 Oblúkové lávky

Základná výhoda oblúkových mostov zo statického hľadiska vyplýva najmä z ich tvaru, ktorý sa volí blízky tvaru výslednicovej čiary od vonkajšieho zaťaženia. Z tohto dôvodu je najvhodnejšia parabola. Z estetického hľadiska pôsobia oblúky v porovnaní s mostnými konštrukciami iných tvarov veľmi priaznivo. Za nevýhodu je považovaná všeobecne ich náročnejšia, prácnejšia a nákladnejšia výroba a montáž.

Základné delenie oblúkov vychádza z ich statického pôsobenia. Z hľadiska tlakov na opory hovoríme o oblúkoch pravých, ktoré aj pri zvislom zaťažení vyvodzujú šikmé podporné tlaky, alebo ide o nepravé oblúky – s tiahom (konštrukcie s trámovým účinkom), ktoré pri zvislom zaťažení pôsobia na základy zvislými tlakmi.

Z hľadiska statického systému hlavnej nosnej konštrukcie rozdeľujeme oblúky podľa stupňa statickej neurčitosti na oblúky votknuté – trikrát staticky neurčité; oblúky s jedným kĺbom – dvakrát staticky neurčité; oblúky dvojklbové – jedenkrát staticky neurčité a oblúky trojklbové – staticky určité. [18]

Tento konštrukčný typ premostenia sa začal objavovať zároveň s používaním lepených nosníkov. Príkladom drevenej oblúkovej lávky je Lávka cez Ohři v Chebu. (Obr.27) Je súčasťou cyklotrasy, jej dĺžka je 28 metrov a šírka 3,65 metra. Hlavným nosným prvkom sú trojklbové oblúkové nosníky s konštantným prierezom 240/595 mm. Priestorovú tuhosť oblúka zabezpečujú štyri drevené lepené stužidlá s oceľovými tiahľami. Mostovka je na oblúky zavesená po 4 metroch pomocou oceľových tiahel priemeru 24 mm. Konštrukcia mostovky je tvorená sústavou priečnikov, pozdĺžnikov a doplnená o oceľové zavetrovanie. Staticky pôsobia oblúky a mostovka samostatne. Reakcie od oblúkov sú prenášané cez oceľové ložiská do

železobetónových opôr. Hlavné nosníky (oblúky), priečniky a horné stuženia sú zhotovené z lepeného lamelového dreva GL24h s hrúbkou lamiel pre tretiu triedu vlhkosti. Pozdĺžniky mostovky, spodné stuženia a zábradlie sú vyrobené z hobľovaného reziva triedy C24. Vlastná mostovka je dubová. [19]



Obr.27 Lávka v Chebe [19]

4.4.3 Visuté lávky

V porovnaní s inými typmi lávok umožňujú visuté lávky preklopenie omnoho väčších rozpätí, a teda premostenie najväčších otvorov. Hlavným nosným prvkom je visutý pás, ktorý je namáhaný od zvislého zaťaženia ťahom a pôsobí na kotevné bloky šikmými podpornými ťahmi. U prvých visutých mostov bola visutým pásom reťaz , jednalo sa o tzv. mosty reťazové. Spočiatku mali tieto mosty prvky mostovky zavesené priamo, prostredníctvom závesov. To viedlo k veľkým deformáciám často k zrúteniu konštrukcie. Preto sa začali stavať visuté mosty s výstužným nosníkom. Reťaze boli nahradené najprv vinutými lanami, neskôr káblami z rovnobežných drôtov. Výhodou týchto mostov je možnosť preklopenia tých najväčších rozpätí pri malej dimenzii výstužného nosníka. Nevýhodou je však značná aerodynamická nestabilita konštrukcie, ktorá sa zvyšuje pri nevhodnej voľbe tvaru a dimenzie prierezu. [18]

Príkladom drevenej lávky s týmto konštrukčným systémom je Benešovská lávka (Obr.28). Oceľová kotevná konštrukcia a laná (respektíve tyče a tiahla) nesú drevené nosníky, mostovku a zábradlie.



Obr.28 Benešovská lávka [57]

4.4.4 Zavesené lávky

Hlavným nosným prvkom je trámový nosník mostovky zavesený na šikmých závesoch, vedených cez pylóny a pôsobiacich na podpory šikmými ťahmi. Na rozdiel od visutých mostov sú nosné laná zavesených mostov kotvené takmer vždy do trámu mostovky a len výnimočne do základových blokov. Výhody a nevýhody tohto konštrukčného systému sú v podstate rovnaké ako pri visutých lávkach.

Jednou z lávok tohto konštrukčného systému je lávka Samota (Obr.29). Je zložená z dvoch častí a celková dĺžka premostenia je 40 m. Drevené prvky sú z lepeného lamelového dreva a pylóny sú oceľové. [18]



Obr.29 Lávka Samota [18]

4.4.5 Vešadlové a vzpínadlové lávky

Vešadlom nazývame druh konštrukcie, ktorý je využívaný k zvýšeniu únosnosti vodorovného nosného prvku. Táto konštrukcia je využívaná pri historických krovoch a mostných objektoch. Vešadlo vynesie hlavný trám a prenesie zaťaženie do podpornej konštrukcie, analogickými konštrukčnými prvkami sú vzperadlá, kedy je nosný prvok podoprený a vzpínadlo, ktoré je v podstate obráteným vešadlom.

Príkladom vešadlovej konštrukcie je lávka v obci Borová Lada (*Obr.30*). Jedná sa o drevenú nosnú konštrukciu z rezaného smrekovca, z materiálu navrhnutého s ohľadom na umiestnenie v Šumavskom národnom parku, to je. z materiálu, ktorý je danému prostrediu vlastný. Hlavné nosníky tvorí dvojité vešadlo v hlavnom najdlhšom poli s jednoduchými vešadlami v oboch nasledujúcich poliach. Na tieto nosníky sú zavesené priečniky, na ktorých ležia pozdĺžniky s vlastnou mostovkou. Mostina je ukladaná s medzerou 40 mm, aby mohla zrážková voda voľne odtekať. Priečniky sú vytiahnuté na obe strany mosta od vonkajších líc hlavného nosníka. Rozmery realizovanej lávky sú dĺžka 32,7 m, maximálna šírka v mieste pretiahnutých priečnikov je 7,6 m s pochôdnou šírkou 3,2 m. Najdlhšou časťou lávky uloženou na najvzdialenejších koncoch je časť dlhá 20,4 m, ostatné časti majú 6 m a 6,3 m. [19]



Obr.30 Lávka v obci Borová Lada [19]

V prípade vzperadlovej konštrukcie je možné spomenúť barokový mostík cez Vrchlicu (Obr.31).



Obr.31 Mostík cez Vrchlicu [58]

4.4.6 Lávky s predpätou mostovkou

V súčasnosti sa v severských krajinách začali budovať cestné mosty a lávky s jednoduchou konštrukciou, používané pre rozpätie 3 až 36 m. Základ ich mostovky tvorí drevený plochý panel, o maximálnych rozmeroch 16 x 8 m, zostavený z pozdĺžne uložených a nastojato postavených fošní alebo lepených hranolov. Tieto konštrukčné prvky sú z oboch strán opatrené otvormi v pravidelných osových vzdialenostiach a priečne zoskrutkované oceľovými tyčami. Horná plocha takto skonštruovaného panela je opatrená dvoma vrstvami hydroizolácie, na ktorú sa naniesie asfaltová vrstva hrúbky 80 až 110 mm. Hrúbka závisí na navrhnutom použití mosta. V prípade tohto konštrukčného riešenia je výhodou, že nedochádza k preklzu medzi lamelami. Nosníky sú kladené tesne vedľa seba, čím vzniká spolupôsobenie závislé na trení medzi nimi, spôsobené stiahnutím závitovými tyčami. Tyče sú predpínané počas montáže (Obr.32). Takýmto spôsobom vznikajú veľmi tuhé a silné drevené mostovky. [20] [21]

V kapitole 6 je rozobrané správanie takýchto konštrukcií pomocou MKP modelov a snaha preukázať predpokladané vlastnosti.



Obr.31 Predopnutá mostovka [20]



Obr.32 Pešia lávka Nordre Finstat Nord [21]

5 Trvanlivosť drevených lávok a mostov

5.1 Trvanlivosť dreva

Medzi negatívne vlastnosti dreva spojené s jeho nižšou trvanlivosťou spadajú bio degradovateľnosť, keďže je náchylné k poškodeniu hlavne drevokaznými hubami a drevokazným hmyzom, horľavosť, korózia vplyvom poveternostných činiteľov a agresívnych chemikálií, ale aj tvarová deformovateľnosť pri zmenách klímy.

Drevo kategorizujeme do piatich tried trvanlivosti, ktoré sú relatívne lebo sa dajú použiť iba pre vzájomné porovnanie jednotlivých druhov dreva.

V praxi sa prirodzená trvanlivosť dreva nedá presne definovať, keďže je ovplyvnená množstvom rôznych faktorov, z ktorých sú najvýznamnejšie tieto:

- Štruktúra dreva a odlišnosti v štruktúre, dané najmä druhom dreva, ale aj klimatickými, pôdnymi aj iných faktormi
- Expozičné zaťaženie dreva, dané lokalizáciou v interiéroch a exteriéroch, ako aj v rôznych častiach sveta v závislosti na klíme

Jednotliví drevo - znehodnocujúci činitelia pôsobia na drevo často špecificky, čo je dané práve odlišnosťami v štruktúre dreva a v konkrétnych expozíciách. Napríklad niektorí pôsobia iba v listnatom a iba v ihličnatom dreva, iba v exteriéry alebo iba v interiéry a podobne. Na základe poznatkov a skúšok sa vypracovali viaceré štúdie o prirodzenej trvanlivosti dreva. Spracované sú jednak formou pomerovej trvanlivosti, napríklad v podmienkach iba biotických škodcov. [22]

Dôležité je zdôrazniť, že odolnosť dreva voči biotickým škodcom nezávisí v žiadnom prípade od jeho hustoty, keďže aj druhy s vysokou hustotou bez obsahu jadrových látok typu trieslovín, terpenoidov a podobne, ako je napríklad buk a hrab, patria k najmenej trvanlivým druhom. Vysoká trvanlivosť rôznych exotických drevín voči biologickým škodcom je daná hlavne prítomnosťou extraktívnych látok.



Obr. 33 Drevo napadnuté hubami [22]

5.2 Metódy zvyšovania trvanlivosti dreva

Cieľom ochrany dreva je vytvoriť v dreve a jeho okolí také podmienky, ktoré sú nepriaznivé pre pôsobenie degradačných činiteľov. Prirodzená trvanlivosť dreva sa dá zvýšiť fyzikálnymi, chemickými a biologickými metódami.

Prirodzená trvanlivosť dreva sa dá zvýšiť aplikáciou odolnejších druhov dreva, to znamená druhmi s vyšším obsahom trieslovín a iných sprievodných látok. V praxi sa to značne využíva.

Expozičné zaťaženie sa dá zlepšiť viacerými spôsobmi, napríklad trvalo suchým stavom, teda vysušením, vhodným dizajnom, konštrukčnou ochranou a povrchovými úpravami dreva. Ďalším spôsobom je aplikovanie bariéry voči degradačným vplyvom napríklad v podobe ochranných náterov (ÚV stabilizátory). Expozičné zaťaženie sa dá eliminovať aj pôsobením atmosféry nevhodnej pre biologických škodcov, a to vo forme dusíkatých plynov.

Aplikácia chemických látok spočíva v ochrane biocidmi alebo inými látkami. Biocidy zahŕňajú fungicídy, insekticídy vo forme olejov, ťažkých kovov a podobne. Medzi iné chemické látky pre zvýšenie trvanlivosti dreva patria feromóny, repelenty, retardéry horenia, mineralizácia a iné.

Pre vyššiu trvanlivosť sa používa aj **modifikácia dreva** enzymatickými úpravami, termickými úpravami a chemickou úpravou. [22]

5.3 Životnosť stavieb a výrobkov z dreva

Výrobky z dreva sa v čase opotrebovávajú jednak fyzicky (vplyvom porúch najmä od drevokazných činiteľov) a jednak morálne (vplyvom nárokov človeka na funkčnosť a estetickú stránku).

Životnosť drevených stavieb a iných výrobkov z dreva je definovaná časom, po ktorý by mali vyhovovať funkčne – technickým a estetickým požiadavkám v predpokladaných podmienkach použitia. Životnosť sa dá definovať aj tak, že stavby alebo výrobky z dreva sa dostanú do stavu, kedy sa stanú nepoužiteľnými.

Fyzická životnosť nebýva vždy rovnaká pre celú stavbu alebo výrobok. Napríklad pri starších budovách je v krovoch je najnižšia trvanlivosť v pomúrnicích. Fyzická životnosť sa skraca na základe týchto činiteľov:

- Nedostatky v projekte – zlá materiálová skladba, chyby v statike a stavebnej fyzike projektu, nedostatky v konštrukčnej ochrane
- Nedostatky pri realizácii – technologické nedostatky
- Chyby v priebehu užívania – zvýšená agresivita prostredia, zvýšené mechanické zaťaženie alebo nedostatočná údržba
- Nepredvídateľné udalosti – zmeny v normách a predpisoch[22]

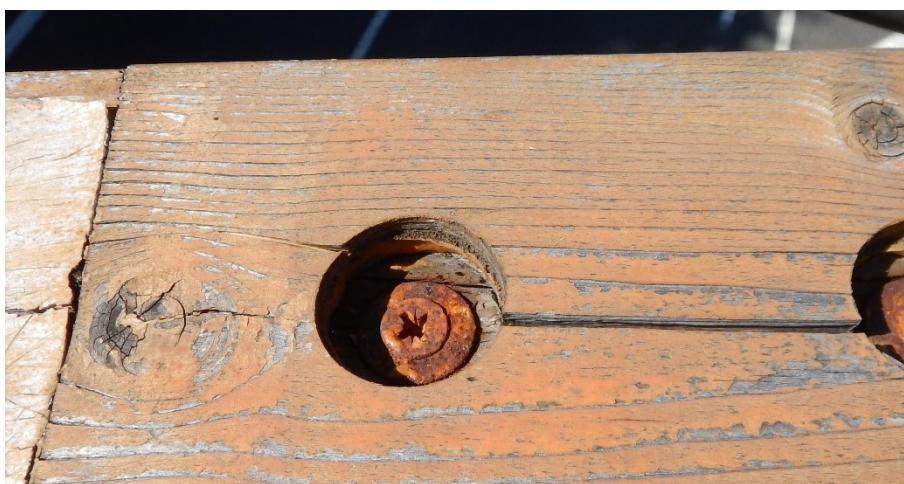
5.3.1 Životnosť drevených látok

Životnosť správne navrhnutých, realizovaných a udržiavaných látok je 40 až 200 rokov, niekedy aj viac. Na druhej strane dochádza k nesprávnemu výberu druhu dreva, nevykonaniu vhodnej ochrany dreva, zlému konštrukčnému riešeniu detailov a zanedbanej údržbe, čo má za dôsledok, že životnosť konštrukcie sa skráti a niekedy nedosiahne ani 5 alebo 10 rokov.

Medzi faktory ovplyvňujúce životnosť drevenej látky v exteriéry patrí:

- Druh a kvalita prirodzeného dreva (ták, dub, smrek a podobne)
- Priepustnosť dreva
- Lepené drevo (lepidlo – typ, nános...)
- Chemická ochrana dreva (typ, príjem, hĺbka náteru...)
- Spojovacie a upevňovacie prostriedky (skrutky, klinec...)
- Konštrukčné riešenie vrátane detailov

- Zastrešenie alebo bez zastrešenia
- Kontakt s kovovými alebo upevňovacími prostriedkami
- Spôsob a kvalita spracovania detailov
- Podmienky prevozu a skladovania
- Vlhkosť dreva vstupná a počas stavby
- Mikroklíma
- Makroklíma
- Mechanické poškodenie
- Pravidelná kontrola a prieskum poškodení



Obr. 34 Otláčenie dreveného nosníka spojovacími prostriedkami [autor DP]

Ak chceme získať, čo najvyššiu trvanlivosť, tak je potrebné konštrukciu zastrešiť a zakryť hlavnú nosnú konštrukciu; použiť prirodzene trvanlivé drevo, ktoré je chránené impregnáciou; znížiť vlhkosť počas montáže; zakryť vodorovné povrchy, spoje a koncové vlákna dreva; zaistiť rýchle vysušenie navlhnutých častí; natrieť drevo niekoľkými farebnými nátermi a použiť tlakovú impregnáciu chemickými roztokmi.

5.4 Izolačný materiál polyurea

Najväčším problémom z hľadiska degradácie je u drevených látok vlhkosť. Preto je v ochrane takýchto konštrukcií potrebná čo najlepšia izolácia a odvod vody. Polyurea svojimi jedinečnými parametrami veľmi účinne bráni prestupu vody. Pre lávky a stavebné konštrukcie je dlhodobý kontakt s vodou nežiadúci a nebezpečný. Takáto ochrana je na drevených lávkach a mostoch zabezpečená oplechovaniami, lepenkami a hydroizolačnými pásmi.

Polyurea GME (čistá polyurea) je dvojzložkový striekaný systém určený pre vyhotovenie plošných hydroizolácií a antikorózných ochrán povrchov.

Aplikácia je založená na reakcii izokyanátov so zmesou aminov za vzniku elastoméru polyurea. Jedná sa o veľmi rýchle systémy, keďže reakcia prebieha behom niekoľkých sekúnd a vytvrdnutie netrvá viac ako 10 sekúnd.

Nástrek systému sa realizuje pomocou vysokotlakých čerpadiel s predhrievaním dopravovaných zložiek na prevádzkovú teplotu cca 80°C.

Izolačný materiál je výhodný z hľadiska veľmi rýchleho vytvrdnutia a teda zabezpečuje minimálny čas odstávky prevádzky. Polyurea vynikajúco priľne k čistým povrchom a materiálom ako betón, drevo, asfalt a oceľ. Čo sa týka pevnostných parametrov, tak sú preukázateľne vynikajúce a prietlačnosť do roztrhnutia je až 300%. Ďalšími plusmi je, že odpadá zložité riešenie detailov, napojenie je realizované len jednoduchými prestriekaniami. Systémy polyurea môžu byť aplikované aj na vertikálne a naklonené plochy bez akýchkoľvek problémov, keďže nedochádza k stekaniu. Na aplikáciu nemá vplyv ani vyššia relatívna vlhkosť a teplota.

Vytvrdenie striekanej zmesi nastáva v celej hrúbke naraz. Pomer medzi izokyanátmi a aminami je 1:1, čo vylučuje nutnosť aplikácie viacerých vrstiev. Tepelná odolnosť materiálu je 175°C. Výhodnou je aj možnosť výber z viacerých farebných variantov.

V prípade tejto diplomovej práce je skutočným plusom použitie rôznych plnív a vlákien pri aplikácií, čo zabezpečí protišmykovú povrchovú úpravu predpätej konštrukcie.

Je odolný voči UV žiareniu, a jeho vplyvom a nedochádza k vzniku nežiadúcich trhlin alebo prasklín. K životnému prostrediu je priateľský, pretože nemá nebezpečné vlastnosti.

Mnoho spomenutých výhod a parametrov boli overené pracovníkmi VŠB – TUO, pomocou výskumu a už realizovanej záverečnej práce .

5.5 Drevený most Olšava

Most cez rieku Olšava (*Obr.35*) sa nachádza mimo súvislej zastavanej oblasti obce. Existujúca konštrukcia je náhradou za nitovaný oceľový priehradový systém s dvoma hlavnými nosníkmi a s dolnou železobetónovou mostovkou, kde došlo k výmene oceľobetónových priečnikov a železobetónovej mostovky za mostovku drevenú a nové oceľové priečniky. Pri rekonštrukcii mosta boli realizované pridružené práce charakteru údržby, ako oprava poškodených prvkov priehradových nosníkov a protikorózna ochrana, napojenie novej mostovky a zábradlia na predmostiach.



Obr. 35 Most cez rieku Olšava [autor DP]

Osová vzdialenosť priečnikov je 2720 mm a sú tvorené dvoma U 280 profilmi. Na oceľové priečniky sú osadené pozdĺžniky z lepeného lamelového dreva GL24h prierezu 180x360 mm dosahujúce dĺžku 3m. Pozdĺžniky sú v záhlaví opatrené zárezom do výšky 180 mm (*Obr. 36*). V priečnom smere sa na pozdĺžniky ukladali mostiny z dreva D30. Ich spoločné prepojenie je realizované pomocou vrutov so zapustenou hlavou.



Obr. 36 Viditeľné zárezy v záhlaví pozdĺžnych prvkov [autor DP]

Na moste Olšava sú realizované prehliadky, pri ktorých sa zistili rôzne poškodenia a nedostatky, ktoré môžu mať významný vplyv na únosnosť a následné používanie. V tejto časti práce je uvedené o aké poškodenia ide a akým spôsobom sú navrhnuté opatrenia.

Pri monitoringu mosta boli nájdené pozdĺžne praskliny v oblasti zárezu v okolí uloženia drevených pozdĺžnych prvkov na oceľové priečniky. Ako je uvedené v predošlom texte, záhlavie všetkých pozdĺžnych prvkov je opatrené zárezom výšky 180 mm, čo výrazne znižuje celkovú únosnosť prvkov. Tieto praskliny sú typickým javom, ktorý nastáva pri prekročení šmykovej únosnosti dreva (*Obr.37*). V tomto prípade je porušenie umocnené existujúcimi zárezmi, kedy dochádza k poklesu šmykovej únosnosti v závislosti na geometrii zárezu. Pri takejto úprave je vznik trhlín viac než pravdepodobný. Praskliny sú najvýraznejšie v krajných prvkoch, na ktoré priamo pôsobí tlak od kolies vozidla. Tento jav naznačuje aj nerovnomerný roznos zaťaženia do pozdĺžnych nosníkov.



Obr. 37 Vznik šmykových trhlín v mieste oslabenia prierezu [autor DP]

Drevené prvky mostovky nie sú dostatočne chránené a udržiavané, preto vplyvom pôsobenia vlhkosti a zhromažďovaním vody dochádza k ich degradácii a sú napadnuté drevokaznými hubami (*Obr.38*).



Obr. 38 Prvok mostovky napadnutý drevokaznými hubami [autor DP]

Prehliadka mosta obsahuje prieskum hlavnej nosnej konštrukcie, kde sa jedná najmä o porušenie pozdĺžnych nosníkov. Poruchy na týchto prvkoch sa objavili už po prvom roku uvedenia konštrukcie do prevádzky. Tieto závady súvisia priamo s používaním mosta, kde došlo k opakovanému preťažovaniu mostovky nákladnými vozidlami. Nie je možné však vylúčiť aj iné vplyvy, ako napríklad prejazd atypických vozidiel, či dynamické nárazy.

V takomto prípade je povrchová úprava zbytočná a je nutná celková výmena drevených prvkov mostovky a pozdĺžnych prvkov.

Drevený most Olšava je riešený klasickým spôsobom, ktorý je rozobraný v kapitole 6, ako jeden z variantov návrhu možného riešenia drevenej lávky.

5.6 Drevená lávka „ U hradu Veveří "

Drevená lávka k hradu Veveří (*Obr.39*) je vybudovaná na lesnej ceste v blízkosti Brnenskej priehrady. Lávka bola vybudovaná vďaka rozvoju turizmu a cyklistických trás v odpočinkovej zóne mesta Brna v roku 2007.



Obr. 39 Drevená lávka k hradu Veveří [43]

Nosnú konštrukciu tvorí drevený dvojtrám z lepených nosníkov s medzil'ahlou mostovkou. Konštrukcia má päť polí s rozpätiami od 15 m do 17 m a celková dĺžka premostenia je 80,55m. Drevená konštrukcia je čiastočne zastrešená. Konštrukcia lávky je položená na drevených operách a pilieroch, uložená na oceľových ložiskách s teflónovým povrchom. Na vnútorných stranách oblúka je kotvená kotevnými skrutkami. Lávka je vybavená drevenými zábradlím a podlaha je realizovaná z dubových hranolov.

Lávka u hradu Veveří bola podrobená prehliadke, kde boli nájdené rôzne poškodenia a nedostatky.

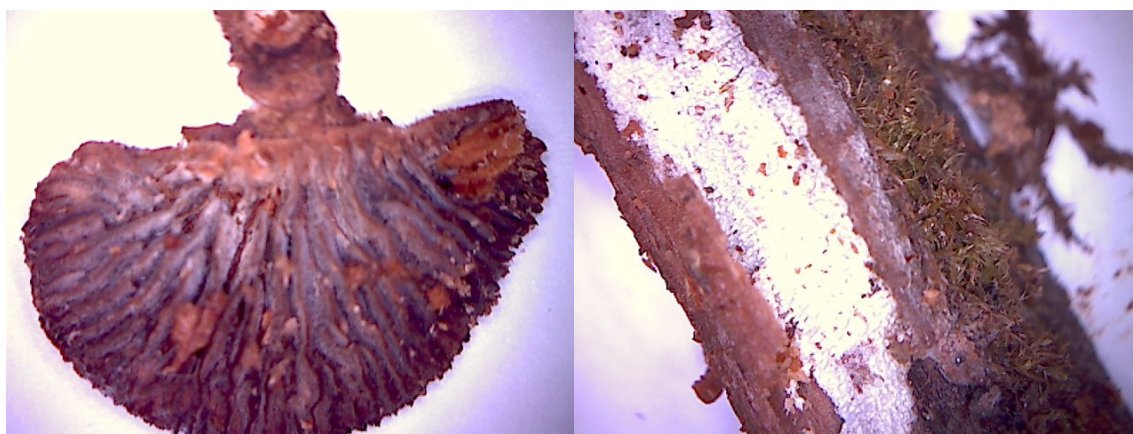
Jedným z predmetom prehliadky bolo prevedenie výškového zamerania konštrukcie. Priečne naklonenie drevenej lávky je viditeľné okom, a dôvodom vzniku je poškodenie nosnej konštrukcie. Najkritickejšie hodnoty dosahuje v oblasti oblúkových nástupných a výstupných častí. Ďalším dôvodom priečneho naklonenia je aj šikmá podpora uprostred rozpätia polí (

Obr.40) (Obr.41). V dôsledku priečneho namáhania môže dôjsť k preťaženiu z dôvodu vznikajúcich prídavných namáhání od naklonenia.



Obr. 40 , Obr.41 Viditeľné priečne naklonenie drevenej lávky [autor DP]

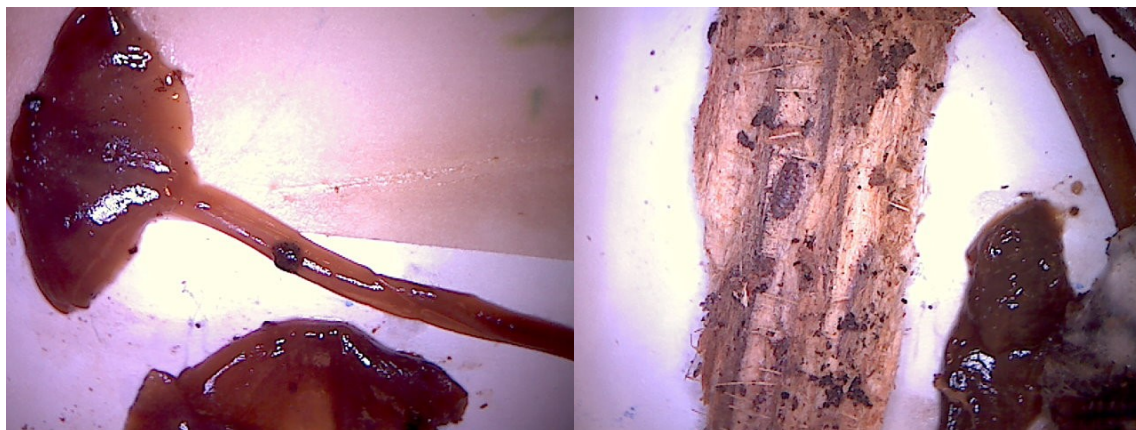
Drevená lávka Veverí je poškodená, priam až v havarijnom stave, pôsobením vlhkosti. V jednotlivých poliach sa nachádzajú drevokazné huby a hmyz. V mieste uloženia pod obložení dosahuje vlhkosť až 40 % a v mieste pozdĺžneho napojenia hlavných nosníkov až 50 %. Na nasledujúcich obrázkoch (*Obr. 42-47*) sú zobrazené niektoré z odobraných vzoriek dreva napadnutých plesňami, hubami a machmi, alebo jednotlivé poškodzujúce huby a plesne vznikajúce pôsobením vlhkosti vo všetkých poliach drevenej lávky.



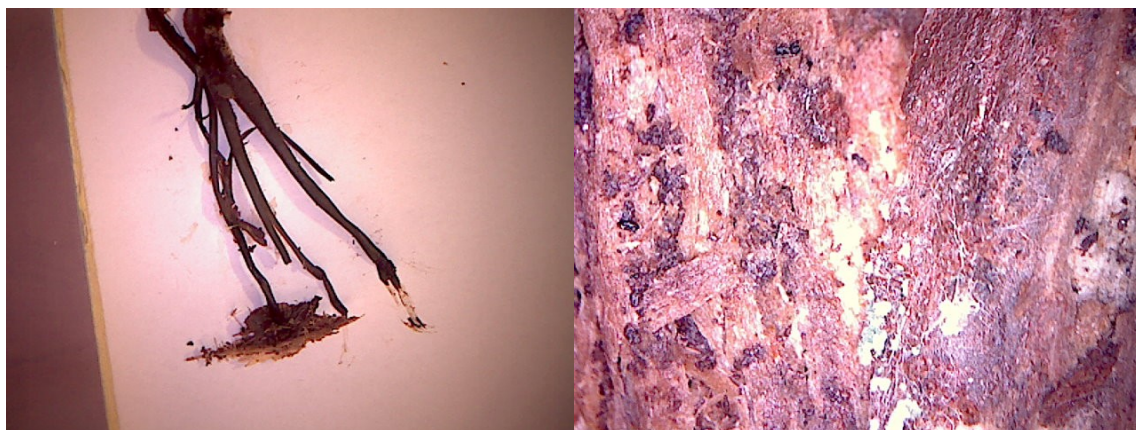
Obr.42 Trámovka plotná; Obr.43 Vzorka napadnutá plesňou a machom [autor DP]

Napadnuté drevo nosných tráv bolo podrobené aj zarazeniu skrutkovača, pre zistenie hĺbky zasiahnutia. V niektorých miestach táto hĺbka dosahuje až 110 mm z celkových 200mm. Takéto poškodenie je zistené v krajných oblúkových poliach. Stredné pole, ktoré je chránené

strešnou konštrukciou, je z hľadiska vlhkosti poškodené v menšej miere. Vlhkosť tam dosahuje približne 12-12,8%. tieto prvky sú vo vyhovujúcom stave.



Obr. 44 Vzorka odobranej huby ;Obr.45Napadnutie drevokazným hmyzom[autor DP]



Obr. 46 Vyskytujúce sa huby;Obr.47Vzorka degradujúceho dreva[autor DP]

V mieste napojenia hlavných pozdĺžnych nosníkov je uložený krycí plech, ktorý zadržiava vlhkosť. Pre účely diagnostiky lávky bol tento plech odobraný. Na hornom povrchu dreva dochádza k degradácii vo vysokom štádiu (Obr.48). Zároveň pri realizácii neboli dodržané okrajové vzdialenosti spojovacích prostriedkov, ktoré trčia zo záhlavia trámov a tým je umožnené vniknutie vlhkosti do štruktúry dreva (Obr.49).



Obr. 48 Degradácia pod plechom;Obr.49 Skrutky trčiace z trámov[autor DP]

6 Variantné riešenia návrhu

Témou diplomovej práce je vhodnosť konštrukčného systému na trvanlivosť drevených lávok pre peších a cyklistov. Mnoho publikácií a predošlých záverečných prác je zameraných na túto tému, kde väčšina z nich pristupuje k najvýhodnejšiemu a najúčinnnejšiemu postupu, a tým je zastrešenie objektu. Tento spôsob riešenia však nie je príliš variabilný. Varianty rozobrané v tejto práci sú zamerané na výhody predpínania nosníkov z lepeného lamelového dreva, kde je samozrejmosťou aj zvýšenie trvanlivosti konštrukcie. Životnosť lávok je v ďalšom bode návrhu zabezpečená pomocou izolačného materiálu polyurea aplikovaného na hlavné nosníky mostovky. Takto vytvorený konštrukčný systém nemá detaily, kde by mohla byť zadržiavaná vlhkosť.

V tejto kapitole sú rozobrané dve alternatívne riešenia drevených lávok. Prvou alternatívou je klasické riešenie drevených trámových lávok a mostov s drevenou mostovkou. Ďalší variant je zameraný na už sponované riešenie konštrukčného systému drevených lávok pomocou predpínania, pričom model simuluje predpätie vložení tuhých ramien, čím je zároveň vykonávaná snaha o zabránenie preklzu medzi nosníkmi.

Podstatou práce je zistiť, ktorá z alternatív je výhodnejšia, preto sú v programe Scia Engineer vytvorené zjednodušené modely, čo pre overenie funkčnosti postačí. Zároveň ide o overenie predpokladu o rovnomernom prerozdelení napätia pri zaťažení konštrukcie osamelým bremenom. Ak bude toto tvrdenie dokázané, je možné vytvoriť zjednodušený doskový návrh.

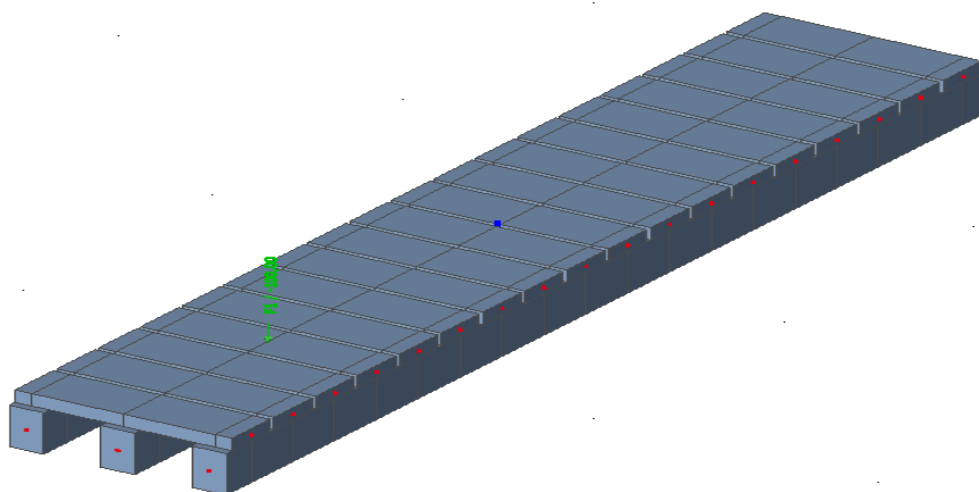
6.1 Variant A - Klasické riešenie trámová lávka

V tomto prípade sa jedná o trámovú lávku s konštantnými osovými vzdialenosťami medzi trámami z lepeného lamelového dreva GL24h a mostinami z dreva dubového triedy D24. Model je zaťažovaný osovo pôsobiacou silou, veľkosti 100 kN na prvok mostiny. Model MKP je vytvorený ako prúťový a škrupinový.

Predmetom zisťovania je prenos zaťaženia do jednotlivých trámov, čím sa dá následný návrh drevenej lávky vypracovať ako ekonomickejšia a efektívnejšia z pohľadu využitia materiálu.

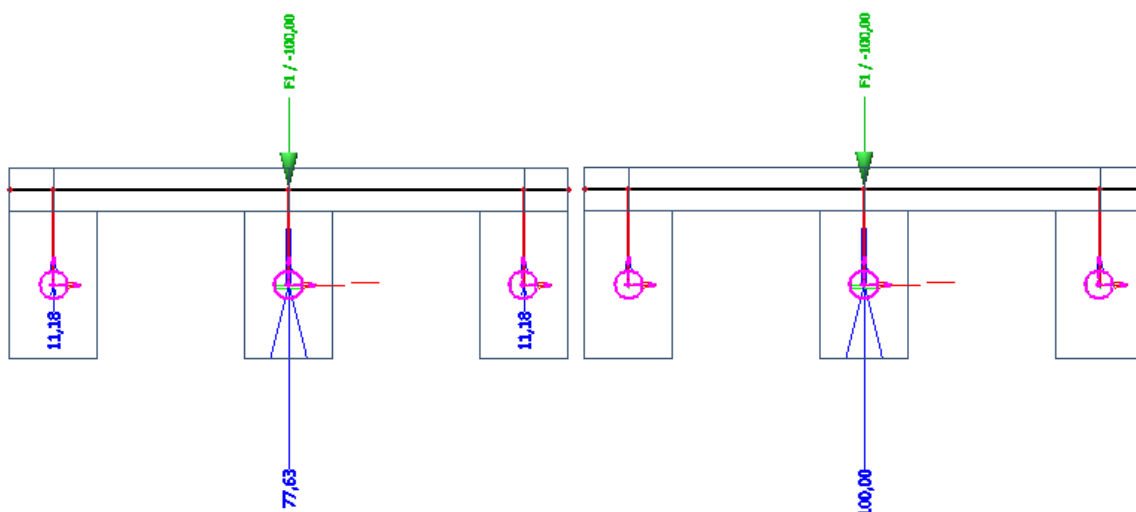
Z hľadiska redistribúcie zaťaženia je možné dané riešenie prirovnať ku konštrukčnému riešeniu mostu Olšave. V časti 5.4 je popísané poškodenie hlavných nosníkov mosta, ktoré vznikalo nerovnomerným pôsobením zaťaženia od kolies nápravy.

6.1.1 Variant A1 - Klasické riešenie (Prúťový model)



Obr. 50 Klasické riešenie – prúťový model [autor DP]

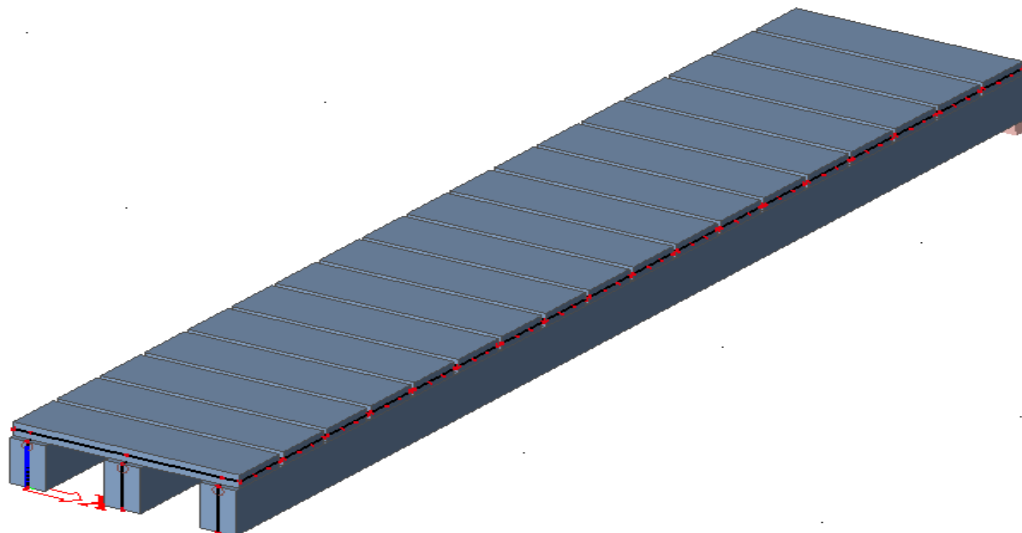
Predpokladom je, že zaťaženie je prenášané do nosníkov v pomere 10% v krajných prvkoch a približne 80% sa preniesie do prvku vnútorného, pod osamelým bremenom.. Model vykazuje, že vo vnútornom tráme sa nachádza 77,63% z celkového zaťaženia a do vonkajších trámov sa prenáša 11,18 %. Tieto odchýlky od predpokladu sú minimálne a je možné tvrdiť, že roznos simulovaný týmto prúťovým modelom potvrdzuje teóriu o tomto spôsobe prenosu zaťaženia.



Obr. 51 Sily v prípoji – Variant A1; Obr. 52 Výslednica reakcií – Variant A1[autor DP]

6.1.2 Variant A2 - Klasické riešenie (Doskový model)

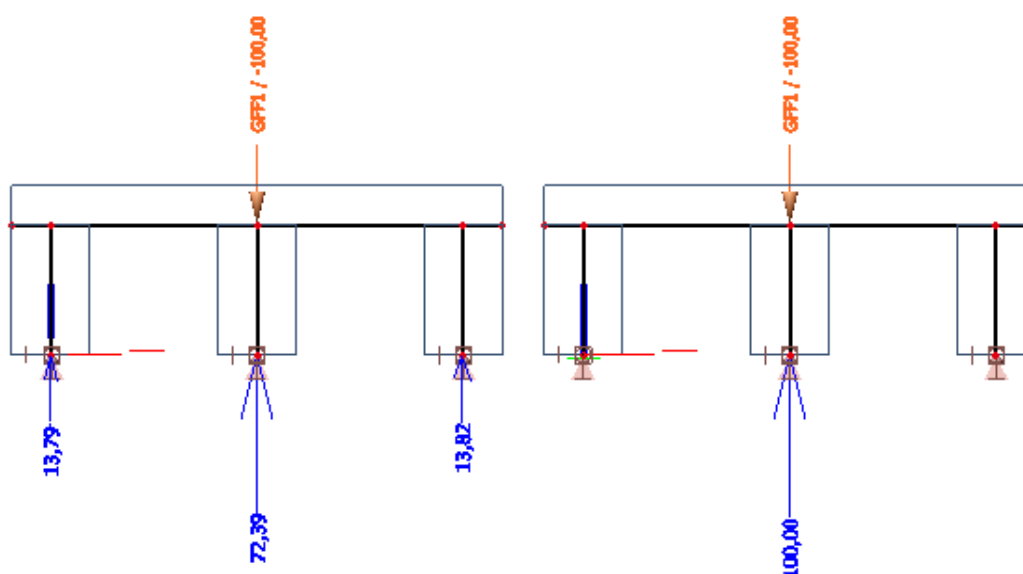
MKP model tohto variantu je vymodelovaný ako model doskový. Zaťaženie je totožné s prúťovým modelom, a to osamelou silou o veľkosti 100 kN.



Obr. 53 Klasické riešenie – doskový model [autor DP]

Prepojenie medzi trámami a mostinami je zaistené pomocou líniovej klbovej podpory, ktorá je ako aj v predošlom prípade voľná v prípade pootočená v smere osi y.

Prerozdelenie zaťaženia je v tomto prípade takisto nie je rovnomerné, ale nastáva rozdiel v hodnotách oproti variantu A1, ktorý je vyhodnotený v *Tabuľke 4*, čo je pravdepodobne spôsobené tým, že ide o doskový model.



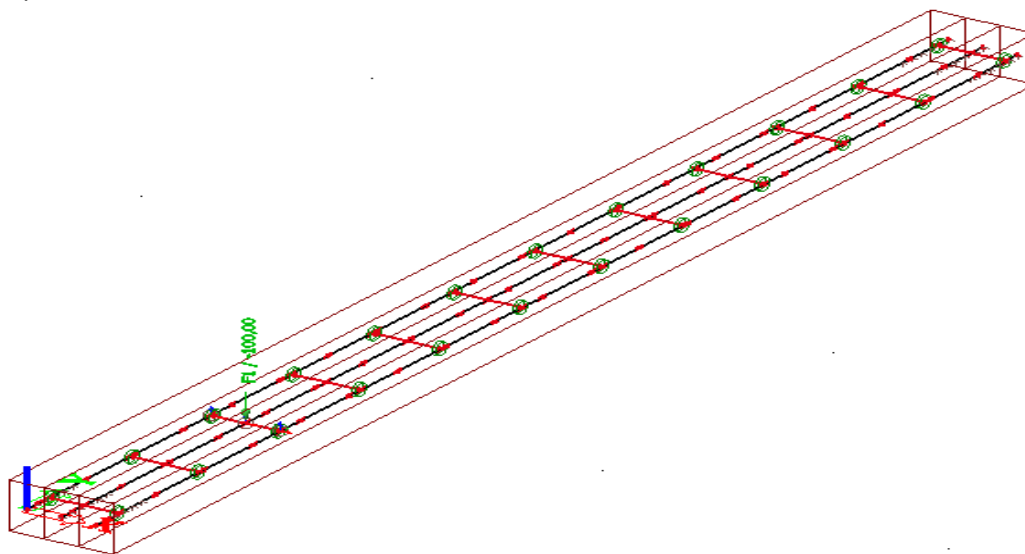
Obr. 54 Rozloženie zať. v nosníkoch variant A2; Obr. 55 Výslednica reakcií – Variant A2

6.2 Variant B - Predpäté nosníky s vloženými tuhými ramenami

Druhým typom riešenia konštrukcie je model, kde dochádza k nasimulovaniu predpätia pomocou tuhých väzieb.

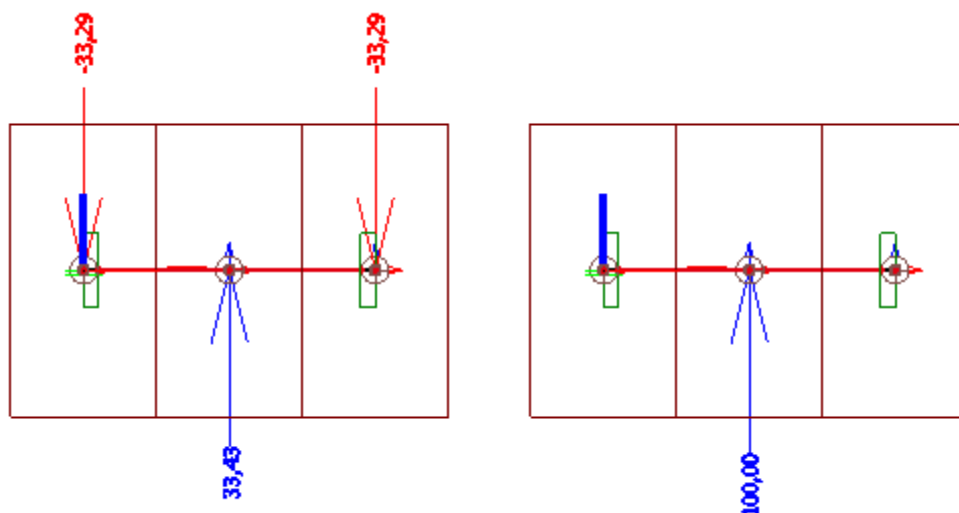
V tomto prípade ide o snahu vymodelovať lávku tak, aby nedochádzalo k preklzu medzi jednotlivými lamelami, čo je zabezpečené pri reálnej konštrukcii pomocou predopnutia nosníkov. Nosníky sú predpínané v priečnom smere v konštantnej osovej vzdialenosti pomocou oceľových závitových tyčí. V modeli je táto situácia vytvorená pomocou už spomínaných tuhých ramien, medzi strednicami drevených trámov. Na konci tuhých ramien je vsadená oceľová guľatina, ktorá je vymodelovaná ako nehmotné teleso, z dôvodu, aby bolo možné zistiť sily v prípochoch tuhých ramien na strednice trámov. Toto riešenie je realizované bez prvkov mostín, pre presnejší prenos zaťaženia a vzhľadom na reálne objekty.

6.2.1 Variant B1 – Predopnuté nosníky s tuhými ramenami (Prúťový model)



Obr. 56 Variant B1- Predpäté nosníky (Prúťový model) [autor DP]

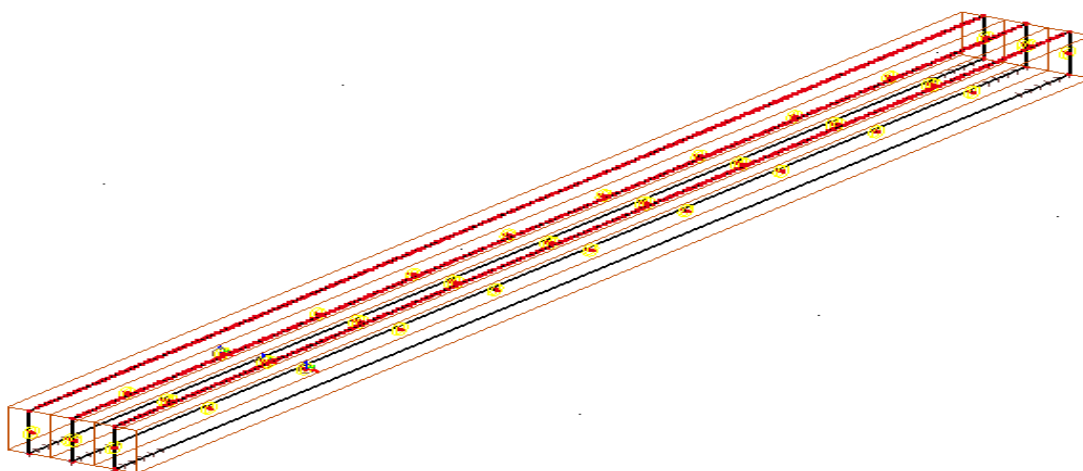
V takto vymodelovanej konštrukcii, pri zaťažení osamelým bremenom, dochádza k rovnomernému rozloženiu zaťaženia medzi trámami. Výslednica reakcií je totožná s hodnotou osamelého bremena. Pomocou tohto modelu je potvrdený predpoklad o rovnomernom prenose zaťaženia v predopnutých nosníkoch, čo je využité pri neskoršom návrhu.



Obr. 57 Sily v prípoji – Variant B1 ; Obr. 58 Výslednica reakcií – Variant B1 [autor DP]

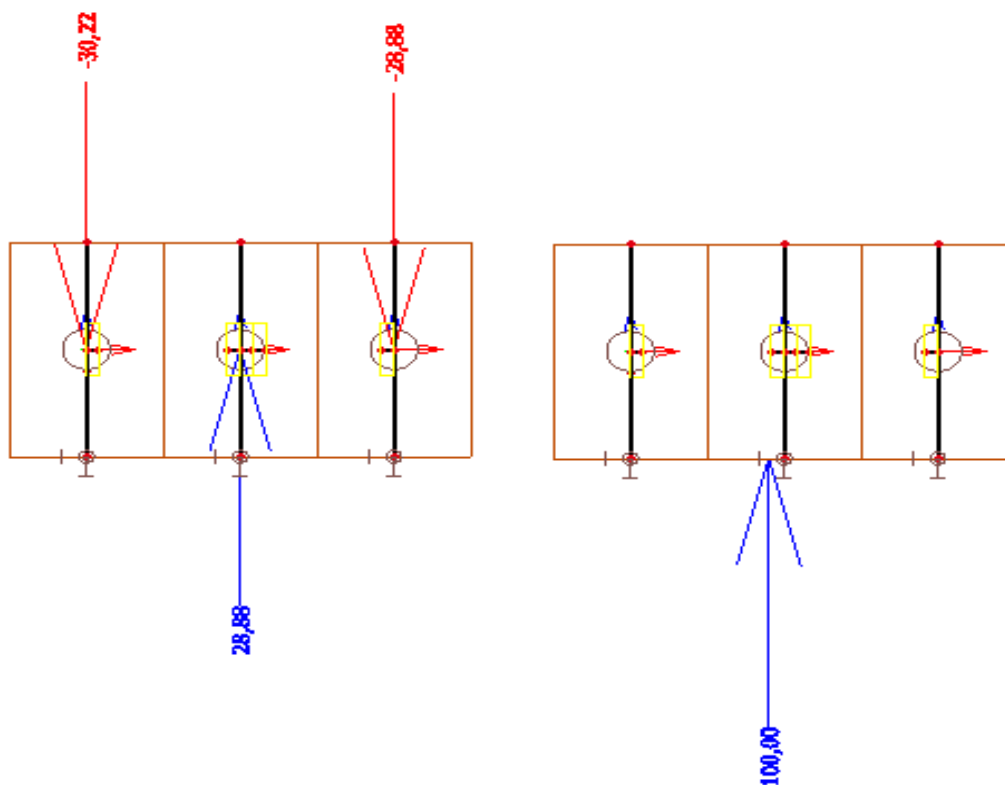
6.2.2 Variant B2 – Predopnuté nosníky s tuhými ramenami (Škrupinový model)

MKP model je vytvorený ako škrupinový kde sú vymodelované tri nosníky prepojené tuhými ramenami s oceľovými prípojnými prvkami pre určenie síl v prípoji na stredovej ploche nosníka..



Obr. 59 Variant B2- Predpäté nosníky (Škrupinový model) [autor DP]

Takisto ako pri alternatíve B1 sa predpoklad o rovnomernom prerozdelení zaťaženia od osamelého bremena potvrdil. Zaťaženie sa však neprenieslo do trávov v celkovej hodnote, čo je možné vysvetliť pomocou Saint – Venantovho princípu lokálneho účinku. Hodnota zaťaženia pritom odpovedá výslednici reakcií.



Obr. 60 Sily v prípoji – Variant B2; Obr. 61 Výslednica reakcií – Variant B2[autor DP]

6.3 Porovnanie variantov

Obe alternatívy, ktoré sú vytvorené ako predbežný návrh konštrukcie, sú v modeloch MKP vytvorené z rovnakého materiálu a totožných rozmerov pre možnosť korektného porovnania. Predmetom sledovania v tejto kapitole je okrem iného aj roznos zaťaženia od osamelého bremena, ktorý potvrdzuje subjektívne predpoklady pri oboch variantoch(*Tabuľka č. 4*). Tento poznatok je využitý pri konečnom návrhu a posudku drevenej lávky, a to v takom zmysle, že pri predopínaných nosníkoch je možné riešiť konštrukciu lávky ako doskovú.

Ďalším predmetom sledovania je využitie množstva materiálu na 1 m'. V programe MS Excel je vytvorený program na výpočet ohybovej únosnosti trámov, v ktorom sú rozmery jednotlivých nosníkov upravované tak, aby boli využité z hľadiska ohybovej únosnosti na sto percent, pričom je menená len výška profilov a šírka sa zachováva. Pri takomto využití je poukázané na celkové rozdiely medzi množstvom využitého dreva. Tie sú veľmi malé, ale ako výhodnejší sa preukázal variant A, kde na rozdiel od variantu B je zahnutý aj materiál mostín (*Tabuľka 5*). Ako výhodu variantu B je možné brať celkovú konštrukčnú výšku, ktorá je hmatateľne menšia ako pri alternatíve A.

Porovnanie riešených alternatív				
	Variant A		Variant B	
MKP model	Prúťový	Škrupinový	Prúťový	Škrupinový
Materiál nosných trémov	GL24h		GL24h	
Výslednica reakcii	100 kN	100 kN	100 kN	100 kN
Sila v 1. krajnom nosniku [kN]	11,18	13,79	33,29	30,22
Sila vo vnútornom nosniku [kN]	77,63	72,38	33,41	28,88
Sila v 2. krajnom nosniku [kN]	11,18	13,82	33,29	28,88
Súčet sil [kN]	99,99	99,99	99,99	87,98
Percentuálne rozdelenie zaťaženia v trémoch				
	Krajný nosník	Stredný nosník	Krajný nosník	
Variant A-Predpoklad	10%	80%	10%	
Variant A1- prúťový model	11,18%	77,63%	11,18%	
Variant A2- škrupinový	13,79%	72,38%	13,32%	
Variant B-Predpoklad	33,33%	33,33%	33,33%	
Variant B1-prúťový model	33,29%	33,40%	33,29%	
Variant B2 -škrupinový	30,22%	28,88%	28,88%	

Tabuľka 4 – Porovnanie variantov z hľadiska prenosu zaťaženia[autor DP]

Pri využití 100% na ohybovú únosnosť				
	b [m]	h [m]	Počet nosníkov na m'	Kubatúra [m ³]
Variant A1	0,125	0,527	4	1,29
Variant A2	0,125	0,508	4	1,25
Variant B1	0,125	0,346	8	1,38
Variant B2	0,125	0,329	8	1,32

Tabuľka 5 – Množstvo využitého materiálu[autor DP]

Na základe týchto poznatkov je autorkou diplomovej vytvorený návrh inšpirovaný variantom B, kde sa preukazujú výhody menšej konštrukčnej výšky, a po stránke životnosti nevznikajú konštrukčné detaily, v ktorých by bola zadržiavaná vlhkosť a voda. Konštrukcia drevenej lávky je na povrchu nosníkov opatrená izolačným materiálom polyurea s protišmykovou povrchovou úpravou.

7 Experimentálne sledovanie predpínacej sily

V laboratóriách VŠB – TUO boli prevedené experimentálne merania. Všetky boli zamerané na správanie sa dreva, ktoré bolo namáhané tlakom kolmo na vlákna. Priebeh merania je zameraný na predpínania dreveného nosníka z lepeného lamelového dreva. Vnesená sila je sledovaná v čase. Predpokladaným výstupom je získanie návrhovej veľkosti sily, ktorá pôsobí v nosníku po nejakom časovom období.

Meranie bolo prevedené na náhodne vybraných nosníkoch, z lepeného lamelového dreva, kde pevnosť dreva kolmo na vlákna dosahuje $f_{c,90,k} = 2,5$ MPa. Jednotlivé skúšané vzorky boli totožné z geometrického hľadiska, čiže prierezová plocha A odpovedala.

7.1 Postup merania

Experimenty boli realizované na troch skúšobných nosníkoch, ktoré boli starostlivo vybrané, aby bol vylúčený, respektíve eliminovaný a znížený vplyv nerovností a prirodzených chýb a väd dreva. Do dreva boli následne vyvrtané otvory priemeru 13 mm pre závitovú tyč M12 8.8. Závitová tyč bola vložená do nosníka. Z jednej stany skúšobnej vzorky bol aplikovaný snímač tlakovej sily FKA 022, ktorý bol opatrený z oboch strán podložkami. Zo strany k nosníku išlo o dva kusy podložiek, pre získanie vyššej ochrany snímača. (Obr.62).



Obr. 62 Skúšobná vzorka [autor DP]

Po príprave skúšobných vzoriek bolo vykonané zaťažovanie. Zaťažovanie prebiehalo v prípade jednotlivých vzoriek obdobným spôsobom. Vzorka bola predpínaná v rámci

možností ručnou silou pomocou momentového kľúča v desať minútových intervaloch, kde počas týchto intervalov dochádzalo k ustáleniu hodnoty sily v nosníku. Výsledná hodnota po ťažení mala byť 15 kN. Priebeh pôsobenia síl bol zaznamenávaný pomocou dataloggera ALMEMO 710. Časové rozostupy medzi záznamami boli počas prvých hodín nastavené po jednej sekunde, neskôr po jednej minúte.

7.2 Výstup z experimentov

Základnou požiadavkou na výsledky experimentálnej časti je získanie veľkosti sily vnášanej do nosníka v závislosti na čase a hodnoty návrhovej sily, ktorá je smerodajná pri neskorších výpočtoch. Táto sila je vypočítaná podľa (7.1), kde je v prvom rade z nameraných sledovaných hodnôt získaný priemer veličiny stanovených z celkového počtu výsledkov m_x . Do výpočtu návrhovej sily vstupuje aj μ_d , ktorý je definovaný ako návrhová hodnota prevodného súčiniteľa a γ_m , ako dielčí súčiniteľ vlastnosti materiálu. Vo výpočte je možné podiel týchto dvoch hodnôt nahradiť hodnotou γ_M , teda dielčí súčiniteľ vlastnosti materiálu, v ktorom sú zahrnuté modelové neistoty. Hodnota k_n , získaná z normy, je závislá na hodnote variačného koeficientu veličiny X a počet nameraných hodnôt. Z nameraných sledovaných hodnôt je získaný priemer veličiny stanovených z celkového počtu výsledkov m_x . [29]. Veľkosti návrhových síl z experimentov pre jednotlivé skúšobné vzorky sú uvedené v Tabuľke 6..

$$X_d = \frac{\mu_d}{\gamma_m} \cdot m_x \cdot \{1 - k_n \cdot V_x\} \quad (7.1)$$

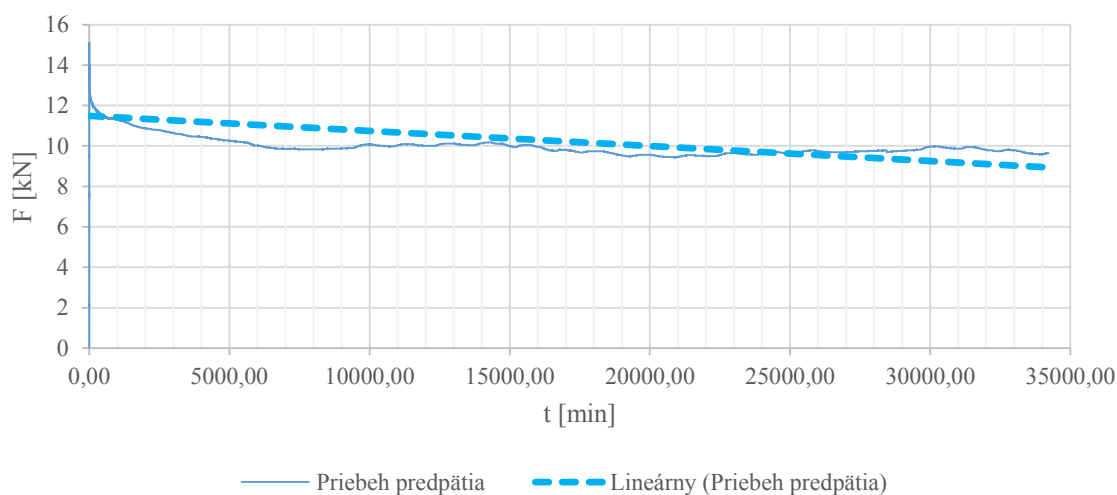
Porovnanie z hľadiska časového snímania sily, hodnôt odčítaných na momentovom kľúči, extrémov vyvedené vo vzorke a hodnôt návrhovej sily je zahrnuté v Tabuľke 6.

	Vzorka č. 1	Vzorka č.2	Vzorka č.3
Dĺžka snímania [min]	38877,00	998,73	3902,77
Počet nameraných hodnôt	107303	3015	3908
1. doťahovanie [N/mm]	75	73	42
2. doťahovanie [N/mm]	90	86	68
3. doťahovanie [N/mm]	90	88	71
Maximálna vyvedená sila $F_{k,Ex}$ [kN]	15,10	15,38	11,69
Priemerná sila v nosníku počas sledovania m_x [kN]	11,34	11,48	7,97
Návrhová sila $F_{v,Ex}$ [kN]	11,55	11,85	8,69

Tabuľka 6 – Základné parametre merania [autor DP]

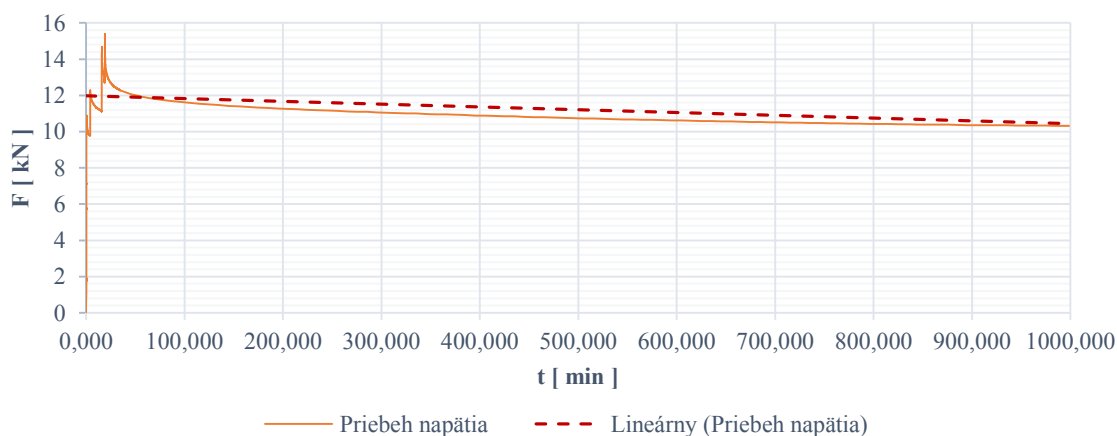
Namerané hodnoty sa pohybujú v približne rovnakých rozpätiach a maximálne dosiahnuté sily sú taktiež obdobných veľkostí, okrem vzorky č.3. Pri realizovaní skúšobného nosníka vzorky č.3 a jej doťahovaní nebolo možné vyvodiť väčšiu silu z dôvodu včasného porušenia vzorky na pevnosť kolmo na vlákna, ale je možné tvrdiť, že vzorka je relevantná, a to z dôvodu priamoúmerných vzťahov medzi maximálnymi vyvedenými silami a hodnotami doťahovania. Pre vzorku č. 1 je vytvorený *Graf č. 1*, kde je možné vidieť vnášanie predpätia a priebeh sily v čase. Takého grafy sú vytvorené aj pre ostatné skúšané vzorky (*Graf č. 2* a *Graf č. 3*). Keďže vnášanie predpätia, ktoré bolo vyvolávané v priebehu prvých pár minút nie je vidieť z dôvodu veľkého časového rozsahu experimentu, je vytvorený *Graf č. 4* s detailným zobrazením tohto úkonu pre všetky skúšobné vzorky.

Vzorka č.1 - Závislosť predpínacej sily na čase



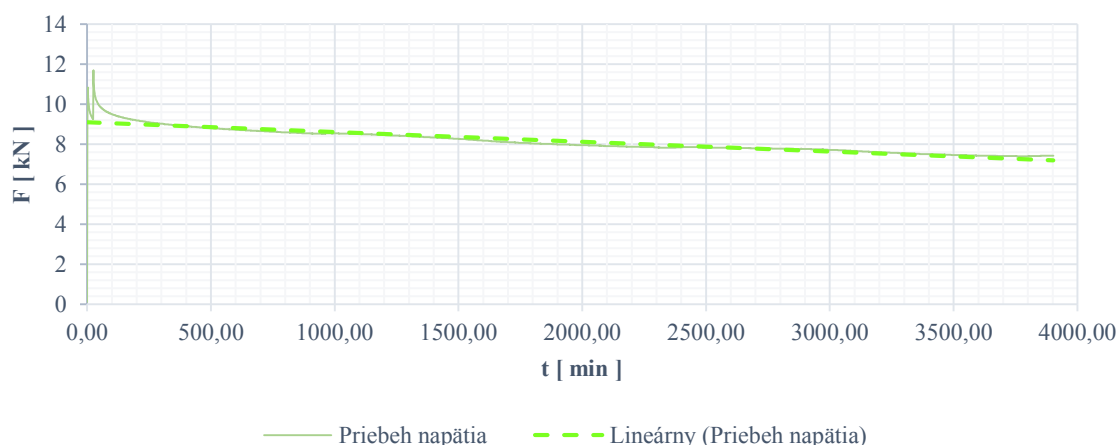
Graf č.1 Priebeh predpínacej sily v čase - Vzorka č. 1

Vzorka č.2 - Závislosť predpínacej sily na čase



Graf č.2 Priebeh predpínacej sily v čase - Vzorka č. 2

Vzorka č.3 - Závislosť predpínacej sily na čase



Graf č.3 Priebeh predpínacej sily v čase - Vzorka č. 3



Graf č.4 Vnášanie predpätia

7.3 Vyhodnotenie experimentu

Dôvodom, prečo je vykonávaná experimentálna časť je, že informácie potrebné na návrh a výpočet nie sú v dostatočnej miere dostupné v žiadnej z noriem. Je potrebné zistiť, ako sa pri predopnutí konštrukcia správa. Z výsledkov skúšok je zrejmé, že vnášaná sila poklesne približne na 75 % z celkovej hodnoty po určitom čase. Vzorky sú sledované v rôznych časových dĺžkach a táto hodnota platí pre všetky z nich (Tabuľka 7). Z tohto poznatku vyplýva, že prvotná predpínacia sila bude väčšia o 25% ako zostatková sila.

Vnášaná maximálna sila	Návrhová hodnota	Percentuálny pokles	Dosiahnutie návrhovej sily v čase
15,10 kN	11,55 kN	76,49%	480 min
15,38 kN	11,85 kN	77,05%	364 min
11,69 kN	8,69 kN	74,33%	287 min

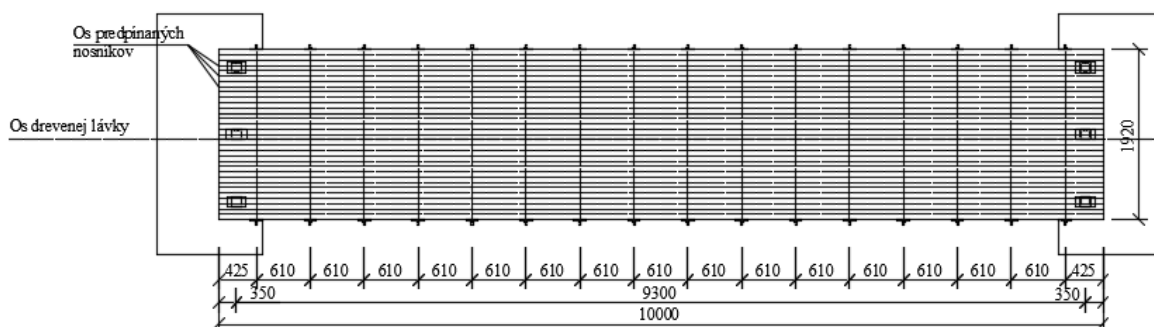
Tabuľka 7 – Vyhodnotenie experimentálnej časti [autor DP]

8 Statický a dynamický návrh a posudok vybranej alternatívy

Návrh konštrukcie je realizovaný ako drevená lávka z predpätými nosníkmi mostovky. Takto riešená konštrukcia je výhodná z hľadiska úspory materiálu, a zároveň je predpätím zabránené možnému preklzu medzi nosníkmi. Materiál sa ušetrí z dôvodu výhodnej redistribúcie vnútorných síl a napätí, zapríčinennej rovnomerným roznášaním zaťaženia, čo je dokázané v kap. 6. Z hľadiska trvanlivosti je návrh lávky zabezpečený povrchový náterom materiálu Polyurea, pre zabránenie vnikaniu vlhkosti, kde je potrebné vylúčiť dopravu motorovými vozidlami, čo v prípade lávky pre peších nenastane. Takéto typy drevených mostov a lávok sa používajú v zahraničí.

8.1 Popis lávky

Návrh drevenej lávky nie je inšpirovaný žiadnou reálnou konštrukciou. Inšpirácia je použitá len v konštrukčnom systéme, čiže rozmery a materiály sú zvolené zo subjektívneho hľadiska a podľa modelov v kapitole 6.



Obr. 63 Schéma riešenej lávky [autor DP]

8.1.1 Materiál a geometria prvkov

Prvky, ktoré sú použité pri návrhu objektu sú pozdĺžne hlavné nosné prvky z lepeného lamelového dreva triedy GL24h rozmerov 120 x 150 mm a rozpätia 10 000 mm v počte 16 kusov. Jednotlivé trámy pôsobia ako prosté nosníky, ale v priečnom smere sú predpäté pomocou závitových tyčí M8 10.9. Pre prenos zaťaženia do ložísk je navrhnutý priečník z dreva D24 rozmerov 120x220 mm dĺžky 1920 mm v počte 2 kusy. Prepojenie medzi priečníkom a nosníkmi mostovky je pomocou svorníkov M14.

8.1.2 Ošetrovanie konštrukcie

Trieda zaťaženia konštrukcie je 3, čo je pre lávky a mosty z dreva bežné. Drevená lávka bude vystavená priamej poveternosti a klimatickým podnetom. Všetky drevené nosníky sú naimpregnované a potreté dvoma nátermi lazúry. Oceľové prvky sú žiarovo pozinkované, pre zníženie možnosti korózie. Na povrchu hlavných nosníkov je aplikovaná vrstva materiálu polyurea so špeciálnou úpravou pre zabezpečenie protišmykového povrchu, ktorá zabraňuje vnikaniu vlhkosti a vody medzi nosníky.

8.2 Statický výpočet

Statický návrh a posudok bol realizovaný v programe MS Office – Excel. Pri statickom výpočte boli dodržiavané platné normy a pravidlá podľa [29] [30] [31] [32]. Podrobný statický výpočet je uvedený v prílohe B1.

8.2.1 Zaťaženie pôsobiace na lávku

8.2.1.1 Zaťaženie od chodcov

Jedná sa o model zaťaženia 4 (LM4), čiže zaťaženie davom ľudí na moste. Tento spôsob zaťažovania sa používa pre celkové overenie. Zaťaženie dosahuje hodnotu 5 kN/m². Zaťaženie obslužného vozidla je vylúčené z dôvodu prejazdnej šírky drevenej lávky. Premenné zaťaženia spôsobené pešou prevádzkou cez most sa uvažujú ako krátkodobé zaťaženia.

8.2.1.2 Zaťaženie od vetra

Drevená lávka je umiestená vo veternej oblasti I, kategória terénu II. Pre určenie zaťaženia je smerodajná základná rýchlosť vetra (8.1), kde do výpočtu vstupujú parametre oblasti.

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad [m/s] \quad (8.1)$$

V ďalšom postupe sú získané súčinitele terénu, drsnosti terénu, charakteristická rýchlosť vetra a intenzita turbulencie. Pre následné určenie hodnôt zaťaženia pôsobiaceho na konštrukciu v smere osu x a z je potrebné vypočítať maximálny dynamický tlak (8.2).

$$q_{p(z)} = \left[1 + 7 \cdot I_{v(z)} \right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{m(z)}^2 \quad [kN/m^2] \quad (8.2)$$

Vietor pôsobiaci na konštrukciu v smere osi x (podľa normového označenia $\hat{o}s$) bol počítaný ako vietor pôsobiaci na zábradlie a kolmo na pozdĺžnu stranu konštrukcie. potrebné je vypočítať plochu, na ktorú pôsobí. Tá bola získaná z programu AutoCad 2016. Do výpočtu výslednej hodnoty (8.3) zaťaženia vetrom vstupujú súčiniteľ sily získaný z grafu, súčinitele konštrukcie a výsledná hodnota maximálneho dynamického tlaku vypočítaného podľa (8.2).

$$w_{k,x} = c_s \cdot c_d \cdot c_{f,0} \cdot q_{p(z)} \quad [kN/m^2] \quad (8.3)$$

Zaťaženia pôsobiace v smere z závisí na celkovej šírke mostovky, súčiniteli sily získaného z normy a súčiniteľoch konštrukcie a je vypočítané podľa (8.4).

$$w_{k,z+} = c_s \cdot c_d \cdot c_{f,z+} \cdot q_{p(z)} \quad [kN/m^2] \quad (8.4)$$

8.2.2 Hlavné nosníky

Hlavné nosníky sú posudzované ako celok, čiže ako doska mostovky. To, že návrh a posudok možné previesť týmto spôsobom je dokázané v kapitole 6. Hlavný nosník o dĺžke 10000 mm má profil 120x500mm. V prípade prevodu na doskové riešenie s efektívnou šírkou b_{ef} (8.5) sú za návrhové parametre nosníka považované rozmery 1000x500 mm.

8.2.3 Medzný stav únosnosti

Po zaťažení lávky boli spočítané vnútorné sily a reakcie pomocou numerického modelu. Tieto vnútorné sily sú predmetom posudzovania.

Dochádza k spomínanému prevodu návrhových pevností nosníka na návrhové pevnosti dosky. Túto zmenu získavame pomocou súčiniteľa pevnosti sústavy k_{sys} , pre mostovky podľa [31]. Pred tým ako získame hodnotu k_{sys} , je potrebné určiť účinnú šírku dosky b_{ef} (8.5) a počet zaťažených lamíel n (8.6). Následne sa z grafu získa potrebná hodnota k_{sys} podľa počtu zaťažených lamíel a spôsobu spojenia jednotlivých nosníkov.

$$b_{ef} = \frac{M_{max,beam}}{m_{max,plate}} \quad [m] \quad (8.5)$$

$$n = \frac{b_{ef}}{b_{lam}} \quad (8.6)$$

Hodnoty návrhových pevností pre doskové mostovky sú získané pomocou vzorcov (8.7) a (8.8).

$$f_{m,d,deck} = k_{sys} \cdot f_{m,d,lam} \quad [MPa] \quad (8.7)$$

$$f_{v,d,deck} = k_{sys} \cdot f_{v,d,lam} \quad [MPa] \quad (8.8)$$

8.2.3.1 Stanovenie prierezových charakteristík

Moment zotrvačnosti

Pri určení momentu zotrvačnosti je braná do výpočtu efektívna b_{ef} určená pomocou vzorca (8.5).

$$I_{y,deck} = \frac{1}{12} b_{ef} \cdot h^3 \quad [m^4] \quad (8.9)$$

Prierezový modul

Pri výpočte prierezového modulu sa používa b_{ef} (8.5).

$$W_{y,deck} = \frac{1}{6} b_{ef} \cdot h^2 \quad [m^3] \quad (8.10)$$

Plocha prierezu

$$A_{deck} = b_{ef} \cdot h \quad [m^2] \quad (8.11)$$

8.2.3.2 Posúdenie hlavného nosníka

Predmetom posudzovania na medzný stav únosnosti je v prvom rade maximálne šmykové napätie určené podľa vzťahu (8.12). V tomto vzťahu vstupujú do výpočtu plocha A vzdorujúca šmyku a súčiniteľ k_{cr} ako súčiniteľ vplyvu trhlín, závisiaci na druhu použitého dreva.

$$\tau_{Ed} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} \quad [MPa] \quad (8.12)$$

Maximálne šmykové napätie je v konečnom posudku porovnané so šmykovou pevnosťou použitého dreva (8.13), kde to výpočtu vstupuje k_{mod} závislé na druhu použitého dreva a dĺžke pôsobiaceho zaťaženia a na γ_M , čo je súčiniteľ spoľahlivosti pre druh použitého materiálu. Posudok je klasifikovaný ako vyhovujúci, v prípade že maximálne šmykové namáhanie nosníka je menšie ako jeho šmyková únosnosť.

$$f_{vd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{vk}}{\gamma_M} \quad [MPa] \quad (8.13)$$

V ďalšej časti posudzovania na medzný stav únosnosti je riešené ohybové napätie (8.14), pričom do vzťahu vstupuje maximálny ohybový moment pôsobiaci na nosník a prierezový modul $W_{y,deck}$ (8.10).

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_{y,deck}} \quad [MPa] \quad (8.14)$$

Maximálne ohybové namáhanie prvku je považované za vyhovujúce v prípade je menšie ako ohybová únosnosť pre daný materiál a dobu zaťažovania. (8.15)

$$f_{md} = \frac{k_{mod} \cdot f_{mk}}{\gamma_M} \quad [MPa] \quad (8.15)$$

Podľa vzorca (8.16) je zistená minimálna vzdialenosť pre umiestnenie ložísk, ktorá je predbežne navrhnutá ako 350 mm. V tomto výpočte sa zameriava na návrhovú pevnosť dreva v tlaku kolmo na vlákna, hodnotu posúvajúcej sily, ktorá pôsobí na ložiská a na efektívnu šírku dosky mostovky.

$$x_{min} = \frac{V_{Ed}}{b_{ef} \cdot f_{c,90,d}} \quad [mm] \quad (8.16)$$

8.2.4 Posúdenie spojovacích prostriedkov

Posúdenie spojovacieho prostriedku ako takého je normatívne podľa (8.17), kde do výpočtu vstupujú súčiniteľ trenia medzi drevenými nosníkmi μ , hrúbka dosky h a hodnota minimálneho dlhodobého zostatkového napätia v tlaku od predpätia $\sigma_{p,min}$. pri tomto konštrukčnom riešení je dôležitý predpoklad, že medzi lamelami nedochádza k preklzu. Posudzovaná sila $F_{v,Ed}$ je získaná analogickým odvodením z MKP modelu opisovaného v kapitole 6. Spojovací prostriedok má funkciu prenosu ťahového napätia. Keďže únosnosť oceli v ťahu je omnoho väčšia ako, hodnota napätia vo drevenom nosníku vyvolaného predpínaním, veľkosť závitovej tyče M8 je zvolená hlavne z konštrukčného hľadiska. Minimálne osové vzdialenosti medzi oceľovými tyčami sú dané normatívnymi hodnotami, a to 600 mm medzi vnútornými prútmi a 300 mm od okraja nosníka.

$$F_{v,Ed} \leq \mu \cdot h \cdot \sigma_{p,min} \quad (8.17)$$

8.2.5 Medzný stav použiteľnosti

Medzný stav použiteľnosti je ako u iných drevených konštrukcií zameraný na okamžitý (8.18) a konečný prieťah konštrukcie. Oba typy deformácie drevenej lávky sú zložené zo

zaťaženia vyvolaného stálym a premenným pôsobením zaťaženia. Do výpočtu vstupuje dĺžka navrhovanej konštrukcie L , už spomínaná hodnota premenného a stáleho zaťaženia, modul pružnosti pre druh použitého materiálu E a moment zotrvačnosti určený podľa (8.9).

$$w_{inst} = \frac{5}{384} \cdot (g_k + q_k) \cdot L^4 \quad (8.18)$$

Celkový okamžitý priehyb je porovnávaný s limitnou hodnotou priehybu danou [32].

Konečný priehyb od stáleho zaťaženia je vypočítaný podľa (8.19). Do výpočtu je zahrnutý okamžitý zvislý posun od stáleho zaťaženia a deformačný súčiniteľ k_{def} závislý na triede vlhkosti a dobe trvania zaťaženia.

$$w_{net,fin,g} = w_{inst,g} \cdot (1 + k_{def}) \quad (8.19)$$

Pri výpočte konečného priehybu od premenného zaťaženia podľa (8.20) sú východiskovými hodnotami okamžitý priehyb od daného typu zaťaženia, deformačný súčiniteľ k_{def} a navyše je kombinačný súčiniteľ ψ_2 .

$$w_{net,fin,q} = w_{inst,q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (8.20)$$

Hodnota celkového konečného priehybu je určená podľa (8.21), ako súčet konečných priehybov od stáleho a premenného zaťaženia. Táto hodnota je porovnávaná s limitnou hodnotou priehybu podľa [32].

$$w_{net,fin} = w_{net,fin,q} + w_{net,fin,g} \quad (8.21)$$

8.2.6 Posúdenie predpätia drevenej lávky

Predpätia konštrukcie je posudzované dvoma spôsobmi. Prvý spôsob je prevedený podľa [32], kde na základe charakteristickej pevnosti materiálu v tlaku kolmo na vlákna $f_{c,90,k}$ je stanovená maximálna hodnota predpínacej sily podľa. Do výpočtu vstupuje návrhová plocha podložky. (8.22).

$$F_{pn} = \mu \cdot f_{c,90,k} \cdot A_{pod} \quad (8.22)$$

Druhý spôsob je zameraný na experimenty a ich aplikáciu, kde pomocou predpínacej sily získanej skúškami $F_{p,Ex}$ a vypočítanej plochy použitej podložky A_{pod} je určené predpätie

napätie. Pomocou týchto údajov je uskutočnený výpočet optimálnej plochy podložky, aby bolo možné predopnúť nosníky na 1MPa podľa (8.19), čo je minimálna hodnota počiatočného predpätia.

$$A_{nut} = \frac{F_{v,Ex}}{\sigma_{poč}} \quad (8.23)$$

8.3 Dynamický výpočet

Lávky pre chodcov môžu byť veľmi citlivé na účinky pohybu chodcov po lávke. Tieto účinky závisia na rade faktorov, z nich najvýznamnejšie sú hodnoty vlastných frekvencií lávky.

8.3.1 Overenie vlastných frekvencií

Pokiaľ vlastné frekvencie lávky pri kmitaní v zvislom smere leží v rozmedzí 1,0 Hz až 3,0 Hz alebo vlastné frekvencie pri vodorovnom priečnom kmitaní v rozmedzí 0,5 Hz až 1,5 Hz, je takmer isté, že odozva na zaťaženie chodcami bude významná. V národnej prílohe sa stanoví, že pokiaľ niektorá z vlastných frekvencií zvislého kmitania lávky leží v rozmedzí 1Hz až 5 Hz alebo vodorovného priečneho v rozmedzí je 0,5 až 2,5 Hz, je nutné previesť podrobnú analýzu dynamického chovania lávky. Analýza musí obsahovať výpočet vlastných frekvencií a tvaru kmitania, prípadne výpočet vynúteného kmitania od dynamického zaťaženia spôsobeného chodcami a od skupiny vandalov. Výpočtové hodnoty sa porovnávajú s prípustnými hodnotami vibrácií uvedených v ČSN EN 1990/A1.

Do výpočtu vstupujú modul pružnosti $E_{0,05}$ použitého materiálu , moment zotrvačnosti vypočítaný podľa (8.9) a dĺžka lávky. V prvom kroku je potrebné vypočítať hmotnosť lávky na jednotku dĺžky, z ktorej je pomocou (8.24) vypočítaná celková hmotnosť lávky. Dôležité je určiť hmotnosť pre výpočet kmitaní, kde je celková hmotnosť lávky rozdelená do dvoch hmotných bodov. Z priehybu nosníka, ktorý je vyvolaný silami od hmotných bodov a z pôsobiacej sily F sa pomocou vzorca (8.25) vypočíta tuhosť konštrukcie.

$$M = \mu \cdot l \quad [kg] \quad (8.24)$$

$$k = \frac{F}{\omega} \quad [N/m] \quad (8.25)$$

Zo získanej tuhosti (8.25) je jednoduchým postupom vypočítaná vlastná kruhová frekvencia (8.26) a následne frekvencia (8.27), ktorá je predmetom posudzovania konštrukcie na

pôsobenie dynamických účinkov. V prípade že hodnota nie je vyššia ako limitná hodnota 5 Hz, čo je pre drevené lávky smerodajná hodnota, je potrebný podrobný dynamický posudok.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [rad/s] \quad (8.26)$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad [Hz] \quad (8.27)$$

8.4 Porovnanie návrhu s experimentálnou časťou

V tejto diplomovej práci je experimentálna časť zameraná na sledovanie prepínacej sily v čase. Z tohto dôvodu je porovnanie zamerané na oblasť posudku prepínania konštrukcie. V prílohe B1 je uvedený výpočet, pomocou ktorého je dokázané, že veľkosť plochy podložky veľmi úzko súvisí s výslednou hodnotou predpínacej sily. Preto je možné vidieť, že pri tomto type konštrukčného systému, ktorý je používaný najmä v Škandinávskych zemiach, sú používané špeciálne druhy podložiek, respektíve plechy, ktoré majú veľkú plochu, zatiaľ čo predpínacie tyče sú pomerne malých priemerov (*Obr.18*). Takto vyriešený spôsob predpínania zabezpečuje, že aj pri veľkej predpínacej sile nedochádza k porušeniu dreva na otláčenie. Počas testovania skúšobných vzoriek predpínacia sila dosahovala požadované hodnoty, ale dochádzalo k porušeniu nosníka otláčením v smere kolmo na vlákna, respektíve pri dotáhovali dochádzalo k úplnému vniknutiu podložky do trámu (*Obr. 64*). Dôvodom je použitá veľmi malá podložka v porovnaní s podložkami používanými na reálnych konštrukciách, a tým vyvodenie príliš veľkého počiatočného napätia.



Obr. 64 Úplne otláčenie nosníka spôsobené vnášaním predpätia[autor DP]

8.5 Uloženie drevenej lávky

Prenos zaťaženia do ložísk je sprostredkovaný prenosom cez priečnik, ktorý je potrebné pre tieto účely navrhnuť.

8.5.1 Priečnik

Priečniky sú navrhnuté z dreva D24 220 x 120 mm v mieste uloženia drevenej mostovky. Tento prvok je posudzovaný ako spojitý o dvoch poliach, a to na ohybovú a šmykovú únosnosť podľa (8.12) a (8.14) v prílohe B1.

V tomto prípade je podstatný posudok spoja medzi drevenou mostovkou a priečnikom, ktorý je realizovaný prostredníctvom svorníkov M14 8.8.. Tento spoj je posudzovaný ako jednostrizný podľa Johansenovej teórie podľa vzorcov (8.28) na únosnosť a strih, z ktorých je rozhodujúca najmenšia hodnota. Táto hodnota je porovnávaná s normálovou silou pôsobiace na priečniku. Do výpočtu Johansenových vzťahov vstupuje, hustota prvkov, pevnosť v otláčení drevených prvkov a charakteristická hodnota momentu klzu svorníka vypočítaná podľa (8.29).

$$F_{v,Rk1} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$$

$$F_{v,Rk2} = f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$$

$$F_{v,Rk3} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_1}{t_2} + \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \quad (8.28)$$

$$F_{v,Rk4} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) \frac{4\beta(2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$$

$$F_{v,Rk5} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) \frac{4\beta(2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$$

$$F_{v,Rk6} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + 2\beta}} \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d}$$

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (8.29)$$

8.5.2 Návrh ložísk

Ložiská pod mostnú konštrukciu sú uložené na betónových oporách triedy C30/37 v maltovom podliatí triedy C20/25. Na každej strane mostnej konštrukcie sa nachádzajú tri elastomerové ložiská s rovnakou stavebnou výškou, ktoré podopierajú priečnik, na ktorom je uložená drevená lávka.

Reakcie, na ktorý je návrh prevedený sú získané z MKP modelu a ich únosnosť vo zvislom smere je 100 kN. Návrh je podľa možnosti posunu a pootočenía vztiahnutý v smere osi x na vnášanie predpätia a pôsobenie vetra a v smere osi y na teplotnú rozťažnosť vid' príloha B1. Schematické rozmiestnenie ložísk a ich pôsobenie je zobrazené na Obr. 65.



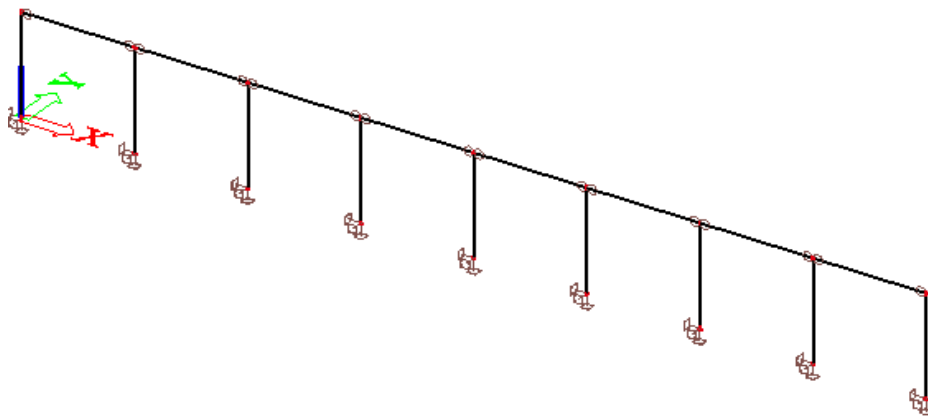
Obr. 65 Schematické rozloženie ložísk [autor DP]

Je potrebné posúdenie otláčenia ložiska do dreveného prvku podľa (8.30). Do výpočtu vstupuje maximálna pôsobiaca reakcia a plocha ložiska. Posúdenie sa vzťahuje na únosnosť dreveného priečnika v tlaku kolmo na vlákna.

$$\sigma_{c,l,d} = \frac{R_{z,max}}{A_L} \leq f_{c,90,d} \quad (8.30)$$

8.6 Návrh zábradlia

Zábradlie je navrhnuté z rastlého dreva triedy C24. je vytvorené zo zvislých stĺpikov a vodorovných prvkov. Pre posúdenie je vytvorený model v programe Scia Engineer. Oba profily majú prierez 60 x 100 mm. Stĺpiky sú výšky 1200 mm v osovej vzdialenosti 1300 mm.



Obr. 66 MKP model zábradlia [autor DP]

Vodorovné prvky sú namáhané vlastnou tiažou vygenerovanou v programe Scia Engineer, normatívne daným úžitkovým zaťažením $q_k = 1,0 \text{ kN/ma}$ pôsobením vetra vo vodorovnom smere. Posúdenie je prevedené na ohybovú únosnosť podľa (8.24) a šmykovú únosnosť podľa (8.25). Predmetom zhodnotenia vodorovného prvku je aj prieťah prevedený podľa vzorcov (8.15 - 8.17).

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} \text{ [MPa]} \quad (8.24)$$

$$\tau_{Ed} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A_{ef}} \text{ [MPa]} \quad (8.25)$$

Zvislé stĺpiky zábradlia sú zaťažené od vodorovných prvkov a takisto sa uvažuje so zaťažením od prípadného kopnutia do stĺpika veľkosti 0,5 kN. Posudok je prevedený, šmykovú odolnosť podľa (8.25) a na kombináciu vzperného tlaku s ohybom podľa (8.26).

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1,0 \quad (8.26)$$

Do výpočtu vstupuje súčiniteľ vzpernosti $k_{c,z}$ získaný zo vzorca (8.27), kde je zahrnutý súčiniteľ k_z vypočítaný podľa (8.28). V tomto vzťahu vystupuje štíhlostný pomer a relatívny štíhlostný pomer (8.29) závislý na vzpernej dĺžke prúta $L_{cr,z}$, polomeru zotrvačnosti i_z , päť percentnom module pružnosti daného materiálu $E_{0,05}$ a jeho pevnosti v tlaku rovnobežne s vláknami $f_{c,0,k}$.

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (8.27)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (8.28)$$

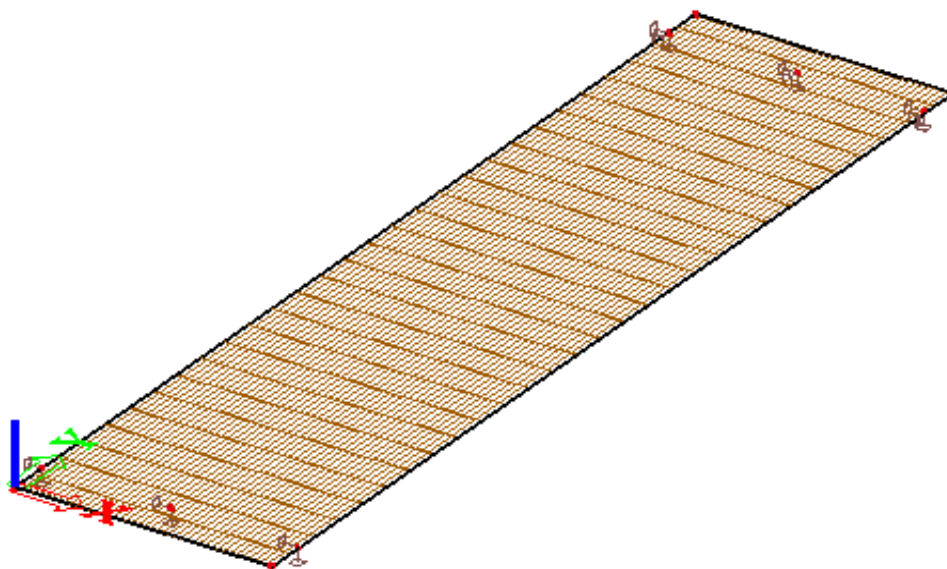
$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (8.29)$$

8.7 Výpočtový MKP model

V práci bol vytvorené doskový model MKP (Obr.67), a to pomocou programu Scia Engineer 16.0.2038. Jedná sa o zjednodušené poňatie návrhu, kde je posudzovaná drevená lávka ako dosková konštrukcia. Použitie tohto modelu je podložené MKP modelmi, ktoré sú rozoberané v kapitole 6. Tento model je podrobený aj modálnej analýze konštrukcie a pre porovnávanie s numerickým výpočtom sú vložené rezy v miestach spojovacích prostriedkov, v miestach, kde by v prúťovom modeli boli umiestnené strednice nosníkov.

Model je vystavený zaťaženiu od skupiny chodcov (LM4), vetrom pôsobiacim vo zvislom a vodorovnom smere a od ostatného stáleho zaťaženia, čiže zábradlia a vybavenia lávky.

Mostiny sa pri takomto konštrukčnom riešení nepoužívajú.



Obr. 67 Návrhový MKP model [autor DP]

8.8 Porovnanie MKP modelu s ručným výpočtom

Hodnoty vnútorných síl získaných pomocou numerického výpočtu sú uvedené v prílohe B. v tej istej prílohe je priložený aj Engineer Report z návrhového modelu MKP vytvoreného v programe Scia Engineer 16.0.2038. Pri porovnávaní hodnôt vnútorných síl a vzniknutých frekvencií je možné skonštatovať, že rozdiel je minimálny.

Percentuálne rozdiely medzi hodnotami získanými numerickým výpočtom a pomocou MKP sú uvedené v *Tabuľke 8*.

Porovnanie numerického výpočtu s modelom MKP			
	MKP model	Ručný výpočet	Rozdiel v %
Maximálny ohybový moment M_{ed} [kNm]	123,90	129,62	4,4
Maximálna posuvajúca sila V_{Ed} [kN]	50,96	51,85	1,7
Frekvencia vo zvislom smere f_0 [Hz]	11,59	11,23	3,1

Tabuľka 8 – Porovnanie ručného výpočtu s MKP modelom [autor DP]

9 Záver

V dnešnej dobe sa drevo vo výstavbe stáva čoraz viac používaným materiálom. V prípade drevených lávok a mostov ide o mnoho konštrukčných systémov, ktoré je možné aplikovať. Jednou z možných výhod dreva je, že ho považujeme za materiál obnoviteľný, ekologický a ekonomický. Problémy však nastávajú v prípade trvanlivosti. Pri diagnostikách vybraných mostov v ČR bolo zrejmé, že ich celková životnosť závisí najmä na konštrukčnom riešení, správnom spôsobe ochrany dreva a údržbe konštrukcie. Najväčším nedostatkom bolo nesprávne riešenie, či chýbajúce odvodnenie objektu, následné zadržovanie vody, čo má za dôsledok zvyšovanie vlhkosti. Zvýšená vlhkosť je veľmi priaznivým prostredím pre výskyt biotických škodcov. Počas monitoringu sa ukázalo, že najslabším článkom z hľadiska vyššie uvedených dôvodov sú konštrukčné detaily.

Aj tieto príčiny sú dôvodom pre výber riešenej konštrukcie, ktorá eliminuje práve problémové miesta – konštrukčné detaily. Ako jeden z vhodných konštrukčných systémov sa preukázali predpínané drevené lávky, ktoré sú používané najmä v severských krajinách. Postup takéhoto riešenia nie je dostatočne pokrytý z normatívneho hľadiska, preto je súčasťou práce experimentálna časť, kde je skúmané správanie predpínacej sily v čase. V návrhu je z hľadiska ochrany pred nepriaznivými vplyvmi konštrukcia na hornom povrchu mostín opatrená izolačnou vrstvou striekaného materiálu Polyurea.

Správna funkcia návrhu je overená statickým a dynamickým posudkom a následným porovnaním s reálnymi konštrukciami, v tomto prípade so skúšobnými vzorkami. Pre účely posudkov je vytvorený univerzálny program.

Záverom by som chcela poznamenať, že táto práca mi priniesla veľa nových poznatkov a skúseností a umožnila mi pochopiť veľa súvislostí ohľadne drevených konštrukcií. Výskum, ktorý predchádzal návrhu bol pre mňa inšpiratívny a prínosný. Vďaka tejto práci som sa utvrdila v tom, čím by som sa chcela v profesionálnom živote zaoberať.

10 Použité pramene

10.1 Zoznam informácií

- [1] REINPRECHT, Ladislav. *Ochrana dreva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 453 s., ISBN 978-80228-1863-6
- [2] KUKLÍK; Petr. *Vlastnosti dřeva* České vysoké učení technické v Praze
- [3] Boughton, G.N.: “*Introduction to timber design*“, Chapter 1.0 from “LIMIT STATES TIMBER DESIGN to AS1720.1“; Curtin University, Australia, 1997
- [4] Hoffmeyer, P.: “*Wood as a building material*“, Chapter A4 from “STEP 1 – Timber Engineering“; First Edition, Centrum Hout, The Netherlands, 1995
- [5] KOŽELOUH, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 2 – Navrhování detailů a nosných systémů*, 2004. 401 s., ISBN 80-86 769-13-5
- [6] POŽGAJ, A. et al.: *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2007, 2. vydanie, ISBN 80-07-00960-4
- [7] ŠIMŮNKOVÁ, E. - KUČEROVÁ, I. *Dřevo*. 2. vyd. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek, 2008. 127 s. ISBN 978-80-86657-10-3
- [8] *Degradace dřeva a materiálů na bázi dřeva* [online]
URL: http://fast10.vsb.cz/odk/prednasdk/ODPK_AL_07
- [9] *Materiály na bázi dřeva*
URL: http://fld.czu.cz/~bohml/materialy_na_bazi_dreva.pdf
- [10] LOKAJ, A. - VAVRUŠOVÁ, K. *Dřevo a materiály na jeho bázi ve stavebnictví. In Stavební partner*. 2012. 11 s.
- [11] http://fast10.vsb.cz/odk/prednasdk/ODPK_AL_01.pdf
- [12] *Dřevěné lávky a mosty*
URL: <http://www.agris.cz/clanek/125574/drevene-lavky-a-mosty>
- [13] *Mosty*
URL: http://vladimirsuchanek.upce.cz/files/Mosty_-_cast_1.pdf

[14] *Bridge over Tiber River at Rome*

URL: <http://www.freeenglishsite.com/empires/empires/etruscan/PonsSublicius.htm>

[15] *Minulost a současnost staveb ze dřeva*

URL: http://www.casopisstavebnictvi.cz/minulost-a-soucasnost-staveb-ze-dreva_N5385

[16] *Mosty*

URL: <http://dromedar.zoznam.sk/cl/11278/324742/Mosty--1->

[17] *Timber-Concrete Composite Bridge, Wippra*

URL: <http://www.schaffitzel-miebach.com/en/projects/timber-bridges/timber-concrete-composite-bridge/timber-concrete-composite-bridge-wippra-de.html>

[18] KOLEKTÍV AUTORŮ, *Konstrukce a dopravní stavby modul bo01-mo2 Konstrukce – základní typy konstrukcí konstrukční řešení staveb*

[19] *Lávka přes Ohři v Chebu*

URL: <http://www.lekon-tsk.cz/>

[20] RITTER, Michael. *Timber Bridges Design, Construction, Inspection, and Maintenance*,. 1990. Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. Washington, DC: 944 p.

[21] GUSTAFSSON, Anders, PARIKKA, Hanna, EKEVAD, Mats, HOURUNRANTA, Olle Hagman Jani, SAUKKO, Ossi, PAHKASALO, Mika *Cluster Wooden Bridges*, 2014

[22] MAKÝŠ, O.: *Technologie obnovy budov*, Jaga group, Bratislava, 2004.

[23] PIRNER, Miroš., FISHER, Ondřej. *Dynamika ve stavební praxi*, vyd. Praha, 2010, 312 s., ISBN 978-80-87438-18-3

[24] MELCER, Jozef. *Dynamické výpočty mostov na pozemných komunikáciách*, vyd. : Žilinská univerzita v Žiline, 1997, 287s., ISBN 80-7100-425-1

- [25] KUCHÁROVÁ, Daniela, MELCER, Jozef. *Dynamika stavebných konštrukcií*, vyd: Žilinská univerzita v Žiline, 2000, 199s, ISBN 80-71000-779
- [26] KUCHÁROVÁ, Daniela, MELCER, Jozef. *Dynamika stavebných konštrukcií príklady*, vyd: Žilinská univerzita v Žiline, 2004, 299s, ISBN 80-8070-326-4
- [27] KLOIBER, Michal, DRDÁCKY, Miloš. *Diagnostika dřevěných konstrukcí*, vyd: Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 2015, 168s., ISBN 978-80-87438-64-0
- [28] RITTER, Michael A. 1990. *Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance*. Washington, DC: 944 p.
- [29] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační úřad, 2004
- [30] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační úřad, 2005
- [31] ČSN EN 1995-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační úřad, 2007
- [32] ČSN EN 1995-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 2: Mosty*. Praha: Český normalizační úřad, 2007
- [33] ČSN EN 301. *Fenolická a aminová lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Klasifikace a technické požadavky*. Praha: Český normalizační úřad, 2014
- [34] ČSN EN 408 + A1. *Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo – Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností*. Praha: Český normalizační úřad, 2013

- [35] ČSN EN 975-1. *Řezivo - Vizuální třídění listnatého dřeva - Část 1: Dub a buk*. Praha: Český normalizační úřad, 2009
- [36] ČSN EN 975-2. *Řezivo - Vizuální třídění listnatého dřeva - Část 2: Topoly*. Praha: Český normalizační úřad, 2004
- [37] ČSN EN 1912. *Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti - Přiřazení vizuálních tříd a dřevin*. Praha: Český normalizační úřad, 2012
- [38] ČSN EN 14080. *Dřevěné konstrukce - Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo - Požadavky*. Praha: Český normalizační úřad, 2013
- [39] ČSN 73 6200. *Mosty - Terminologie a třídění*. Praha: Český normalizační úřad, 2011
- [40] ČSN 73 6209. *Zatěžovací zkoušky mostů*. Praha: Český normalizační úřad, 1996
- [41] ČSN 73 2030. *Zatěžovací zkoušky mostů*. Praha: Český normalizační úřad, 1996
- [42] ČSN 73 2824-1. *Třídění dřeva podle pevnosti - Část 1: Jehličnaté řezivo*. Praha: Český normalizační úřad, 2015
- [43] *Dřevěná lávka pro chodce a cyklisty u hradu Veverí*
URL: http://www.casopisstavebnictvi.cz/drevena-lavka-pro-chodce-a-cyklisty-u-hradu-veveri_N1321
- [44] *Polyurea*
URL: <http://www.inteizol.cz/polyurea>
- [45] *Polyurea*
URL: <http://www.gmenet.cz/cz/polyurea>
- [46] *Spoje prvků dřevěných konstrukcí*
URL: http://fast10.vsb.cz/odk/prednasdk/ODPK_AL_03.pdf
- [47] *Příručka 2 – navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5*

URL: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf

[48] WACKER, P. James, *Standard plans for Timber Bridge Superstructure*, West Virginia

[49] POŤGAJ, A. a kol.: *Štruktúra a vlastnosti dreva*, Príroda-Bratislava, 1993.

[50] ILLSTON, J.M. et al.: *Concrete, Timber and Metals – The Nature and Behaviour of Structural Materials*, Van Nostrand Reinhold Co. , New York, 1979.

[51] KOLOUŠEK, V.: *Dynamika stavebních konstrukcí*, 1. Obecná část, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha, 1967

[52] *A handbook of softwoods*, Building Research Station, Garston, 1977

[53] ČUNDERLÍK, I., *Štruktúra dreva*, Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, 2009, s.132

[54] *Historické mosty*

URL: <http://www.pofis.sk/katalog/produkty/znamka-2000-historicke-mosty-dreveny-most-v-kluknave>

[55] *Stunning timber structures*

URL: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2253793/The-1-000-year-old-wooden-bridges-modern-China-moving-Stunning-timber-structures-withstood-test-time.html>

[56] *Bogoda Sri Lanka*

URL . https://en.wikipedia.org/wiki/Bogoda_Wooden_Bridge

[57] https://www.geocaching.com/geocache/GC287GW_benesovska-lavka?guid=b53d786fec49-408d-95cb-0eb988cdd7be

[58] *Vrchlica*

URL: <http://www.panoramio.com/photo/108693566>

10.2 Zoznam obrázkov

Obr. 1 Rez drevom [49]

Obr.2 Vrstvy bunkovej steny dreva [49]

Obr.3 Skupinové hrče v ihličnatom dreve [8]

Obr. 4 Deformácie prierezu rozdielne vyrezaných z kmeňa po sušení [53]

Obr.5 Tvarové zmeny reziva [53]

Obr.6 Niektoré materiály na báze dreva [9]

Obr.7 Skladba Lepeného lamelové nosníka [9]

Obr. 8 Lávka z LLD [12]

Obr. 9 Zastrešenie haly z LLD [9]

Obr. 10 Lepený lamelový nosník vystužený vláknami s vysokou pevnosťou [9]

Obr. 11 Most cez rieku Tiberu Pons Sublicius [14]

Obr. 12 Caesarov most [17]

Obr.13 Prašný most – dobový obrázok [15]

Obr.14 Rheinbrücke – model mosta [15]

Obr. 15 Kapellbrück [15]

Obr. 16 Most Černvín [15]

Obr. 17 Historický most pri Kluknave [16]

Obr. 18 Drevený most v meste Fuzhou v Číne [17]

Obr. 19 Most Bogoda na Srí Lanke [17]

Obr. 20 Sewall's Bridge [17]

Obr. 21 Priestorová priehradová lávka k vrchu Knihov [16]

Obr. 22 Lávka pre peších v meste Zvolen [16]

Obr. 23 Leonardova lávka [17]

- Obr.24 Konštrukčné systémy mostov a lávok [18]*
- Obr.25 Brikbergbrücke [17]*
- Obr.26 Lepené nosníky s betónovou doskou [17]*
- Obr.27 Lávka v Chebe [19]*
- Obr.28 Benešovská lávka [57]*
- Obr.29 Lávka Samota [18]*
- Obr.30 Lávka v obci Borová Lada [19]*
- Obr.31 Mostík cez Vrchlicu [58]*
- Obr.31 Predopnutá mostovka [20]*
- Obr.32 Pešia lávka Nordre Finstat Nord [21]*
- Obr. 33 Drevo napadnuté hubami [22]*
- Obr. 34 Otláčenie dreveného nosníka spojovacími prostriedkami [autor DP]*
- Obr. 35 Most cez rieku Olšava [autor DP]*
- Obr. 36 Viditeľné zářezy v záhlaví pozdĺžnych prvkov[autor DP]*
- Obr. 37 Vznik šmykových trhlin v mieste oslabenia prierezu [autor DP]*
- Obr. 38 Prvok mostovky napadnutý drevokaznými hubami [autor DP]*
- Obr. 39 Drevená lávka k hradu Veverí [43]*
- Obr. 40 Viditeľné priečne naklonenie drevenej lávky [autor DP]*
- Obr.41 Viditeľné priečne naklonenie drevenej lávky [autor DP]*
- Obr. 42 Trámovka plotná [autor DP]*
- Obr.43 Napadnutá vzorka plesňou a machom [autor DP]*
- Obr. 44 Vzorka odobranej huby [autor DP]*
- Obr.45Napadnutie drevokazným hmyzom [autor DP]*
- Obr. 46 Vyskytujúce sa huby [autor DP]*

- Obr.47 Vzorka degradujúceho dreva [autor DP]*
- Obr. 48 Degradácia pod plechom [autor DP]*
- Obr.49 Skrutky trčiacie z trávov [autor DP]*
- Obr. 50 Klasické riešenie – prúťový model [autor DP]*
- Obr. 51 Sily v prípoji – Variant A1 [autor DP]*
- Obr. 52 Výslednica reakcií – Variant A1 [autor DP]*
- Obr. 53 Klasické riešenie – doskový model [autor DP]*
- Obr. 54 Rozloženie zať. v nosníkoch variant A2 [autor DP]*
- Obr. 55 Výslednica reakcií – Variant A2 [autor DP]*
- Obr. 56 Variant B1- Predpäté nosníky (Prúťový model) [autor DP]*
- Obr. 57 Sily v prípoji – Variant B1 [autor DP]*
- Obr. 58 Výslednica reakcií – Variant B1 [autor DP]*
- Obr. 59 Variant B2- Predpäté nosníky (Škrupinový model) [autor DP]*
- Obr. 60 Sily v prípoji – Variant B2 [autor DP]*
- Obr. 61 Výslednica reakcií – Variant B2 [autor DP]*
- Obr. 62 Skúšobná vzorka [autor DP]*
- Obr. 63 Schéma riešenej lávky [autor DP]*
- Obr. 64 Úplne otláčenie nosníka spôsobené vnášaním predpätia [autor DP]*
- Obr. 65 Schematické rozloženie ložísk [autor DP]*
- Obr. 66 MKP model zábradlia [autor DP]*
- Obr. 67 Návrhový MKP model [autor DP]*

10.3 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 – Hustota najvýznamnejších drevín [49]

Tabuľka 2 – Zmena vlastností bezporuchového dreva (%) pri zmene obsahu vlhkosti dreva o 1% [49]

Tabuľka 3 – Triedy tvrdosti dreva [49]

Tabuľka 4 – Porovnanie variantov z hľadiska prenosu zaťaženia [autor DP]

Tabuľka 5 – Množstvo využitého materiálu [autor DP]

Tabuľka 6 – Základné parametre merania [autor DP]

Tabuľka 7 – Vyhodnotenie experimentálnej časti [autor DP]

Tabuľka 8 – Porovnanie ručného výpočtu s MKP modelom [autor DP]

10.4 Zoznam grafov

Graf č.1 Priebeh predpínacej sily v čase - Vzorka č. 1

Graf č.2 Priebeh predpínacej sily v čase - Vzorka č. 2

Graf č.3 Priebeh predpínacej sily v čase - Vzorka č. 3

Graf č.4 Vnášanie predpätia